中国名瓷工艺基础

李国桢　郭演仪　著



中国名瓷工艺基础

TECHNOLOGICAL BASES OF FAMOUS CHINESE PORCELAINS

李国桢　郭演仪　著



上海科学技术出版社

中国名瓷工艺基础

TECHNOLOGICAL BASES OF FAMOUS CHINESE PORCELAINS

李国桢　郭演仪　著

上海科学技术出版社出版
（上海瑞金二路 450 号）

新华书店上海发行所发行　　祝桥新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16　印张 12　插页 1　字数 274,000
1988 年 5 月第 1 版　1988 年 6 月第 1 次印刷
印数 1—2,700册

ISBN 7-5323-1029-9/TQ·22

定价：7.80 元

内 容 提 要

本书从工艺学的观点出发，系统介绍了中国历代各名窑瓷器的发展和工艺基础知识，包括中国南北方传统制瓷用原料、成形和烧成技术；青、白、颜色釉瓷的胎、釉组成和彩料的制作、成分及其显微结构；陶瓷性能、简要的制作技艺与工艺条件等。本书又是一本总结中国各名窑的工艺实际，为仿制名窑瓷器提供基本依据和为现代日用瓷的研究和生产提供借鉴的新书。

本书可供从事陶瓷、文物考古、外贸外事和工艺美术工作者及从事中国陶瓷研究和制作的科技人员参考，亦可供高等院校的陶瓷专业教师和高年级学生参考。

前　言

中国陶瓷闻名世界。瓷器已有近两千年的发展历史。唐、宋时期瓷器的生产在质量和规模上均得到很大发展，并取得了光辉成就。元、明、清时期更是达到登峰造极的技术和艺术高度，为中国的物质文明和世界文化作出了重要贡献。中国陶瓷内容十分丰富，仅名窑所产瓷器品种已不下几百种。本书仅就驰名中外的名瓷品种作为代表加以系统叙述，即从传统用原料、成形和烧成工艺及各名瓷品种，诸如越窑、龙泉窑、官窑、汝窑和耀州窑青瓷；邢窑、定窑、德化窑、磁州窑和景德镇窑白瓷；唐三彩、宋、辽三彩、素三彩以及其它低温色釉陶瓷；祭红、郎窑红、钧红和桃花片等铜红釉瓷及油滴、兔毫等天目黑釉；长沙窑和磁州窑釉下彩及著名的青花和釉里红釉下彩；五彩、粉彩和珐琅彩釉上彩等，一一进行介绍。

为了从科学技术角度系统而扼要地将各名窑瓷器进行总结和论述，我们结合以往对中国古代名窑瓷器研究工作的经验，写成了本书，向读者介绍有关名瓷方面的工艺基础知识，希望能达到引导读者全面了解中国古瓷的本质，熟悉和掌握陶瓷工艺的基本内容的目的，以期读者借助这些知识有所俾益。

本书共分十章，第一章主要阐述中国陶瓷技术发展历史概况、传统陶瓷器的基本概念和分类等；第二章论述了南、北方传统瓷器制作用的典型原料；第三章概述了传统名瓷的塑性成形方法和装饰技艺；第四章介绍了陶瓷窑炉结构的发展和瓷器装烧技术；第五至八章分别叙述了历代南北方白瓷、青瓷和高、低温色釉瓷的发展、胎釉组成、显微结构等特征；第九、十章分别叙述了传统陶瓷釉下彩和釉上彩及其彩料的组成和制作工艺。本书第一、二、三、五、九章由郭演仪执笔写成；第四、六、七、八、十章由李国桢执笔写成。尽管中国名瓷属传统陶瓷的一部分，但内容相当广泛。限于作者水平，错误和不妥之处和挂一漏万之弊在所难免，希望广大读者批评指正

李国桢　郭演仪

1985年12月

目　录

CONTENTS

第一章 绪　论

INTRODUCTION

一、中国陶瓷技术发展的简要回顾

陶瓷是人类综合利用岩石、粘土矿物及各种天然资源和火创造性地合成人工材料所取得的最古老的技术成果。它的发展与人类历史有极为密切而久远的关系。特别是瓷器的发明及其技术进步对人类生活和文明都产生了巨大的影响，几乎成为社会发展中文化艺术和技术进步的重要时代标志。

在我国，陶器的出现已有八、九千年的历史。早期阶段，人类在原料的探寻和使用上缺乏经验，在火的使用技术上尚属原始状态，不够成熟，所制陶器多质粗松软。随着实践经验的不断积累，到了新石器时代的中、晚期，陶器的种类已逐渐增多，从泥质和夹砂红陶发展到灰陶、黑陶、夹砂黑陶、彩陶和白陶。此外，为装饰和提高质量，又创造了白色和红色陶衣以及用 Fe_2O_3 和 MnO_2 着色的黑、红色彩料。在成形和加工技术上，同时开创了轮制、模制、表面磨光，薄胎成形以及拍印纹饰等工艺方法。除窑的构造不断改进外，在原料方面也发展了更多的选料和加工处理工艺。从化学成分的分析和矿物晶相组织的观察结果可以推断，无论是黄河流域还是长江流域，所有红陶、灰陶、黑陶或彩陶都是采用不同地区、不同地质矿床的易熔粘土制陶。这类粘土的成分变化很大，但大都含有较高的氧化铁和氧化钙。例如，泥灰岩质粘土，其中一半以上是非粘土矿物，如铁、钛的氧化物或硫化物，钙、镁的碳酸盐和不定量的石英颗粒等。其粘土矿物成分大多为晶体发育不完整的歪晶高岭石、水云母和绿泥石等。各地区所制陶器中含硅、铁、钙质的多寡主要取决于所取当地粘土原料中所含矿物组成。这类粘土在高温下烧后的颜色主要取决于所含氧化铁的情况，在氧化气氛中烧成后，陶器常产生由红到黄的颜色，氧化铝和氧化钙、镁等成分对铁的着色有一定的影响；在还原性气氛和高温下，由于 Fe_2O_3 还原为 Fe_3O_4，也会影响其着色。由此可见，新石器时代早期遗存、仰韶文化以及马家窑文化遗存中主要是红色陶器，都是与原始的烧成条件比较简陋有关。在烧成时，大量空气混入形成强氧化焰，加之原料中所含 Al_2O_3 较低，助熔剂量高，对陶器红色的色度也有明显影响。龙山文化以后，大部分陶器遗存以灰色为主，这说明当时烧成的陶窑已经有了某些改进，窑中空气的进入量受到了节制，形成了不同程度的还原焰，甚至有时燃料燃烧很不完全，使陶器的表面和内部吸碳而形成灰陶和黑陶。龙山文化晚期的白陶遗存表明，那时已经开始利用低铁高铝的粘土制作陶器。这种粘土在我国北方分布很广，即为各地俗称的“坩土”、“碱石”等粘土原料。实际上，这是一种含高岭石族粘土矿物成分较高的沉积粘土，多数与煤层结合伴生在一地。白陶的制作说明，当时在原料选择和使用上已不断开发了新的途径。白陶在胎的组成上也有不少改善，如为了提高耐热急变性能，发明了羼和砂粒和炭屑的方法。新石器时代在陶器成形技术上也有很大改进，逐渐由手工成形过渡到轮制、模制成形。为了提高质量和增加美观，发展了白色陶衣和红色陶衣以及黑色和红色颜料、表

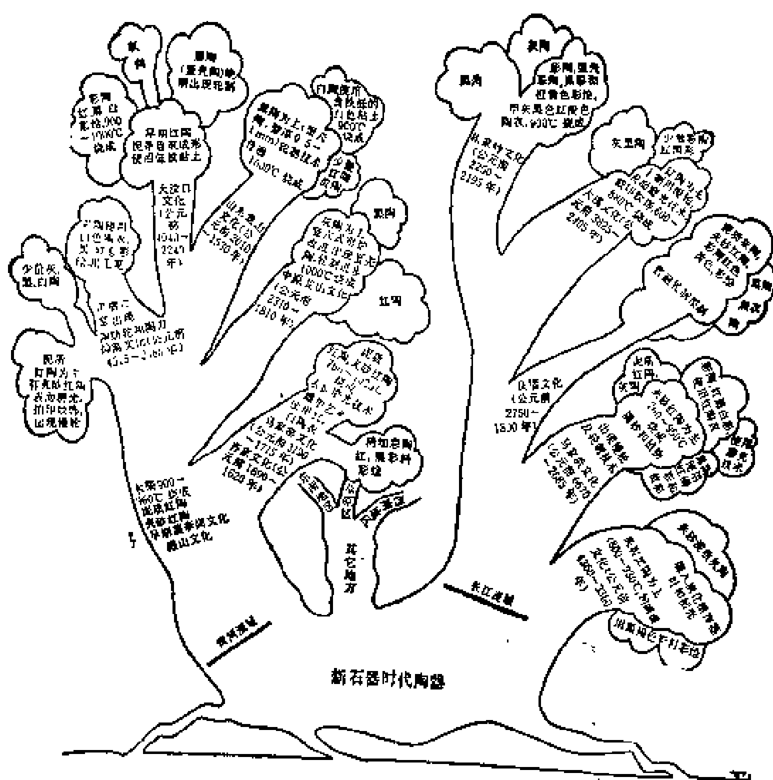


图 **1-1** 新石器时代陶瓷制作的演变和系统概貌

面磨光和毛笔彩绘、印纹等装饰技术；同时也发展了简单的雕塑技术。可见，新石器时代的制陶术是从选择原料出发，到综合地改善成形、装饰、烧成等各个工序而不断进步的。新石器时代陶瓷制作的演变和系统的概貌示于图 1-1，从图中可以粗略地看出它的发展情况 。

到奴隶社会的商周时代，红陶的制作已大为减少，除大量制作灰、黑陶器外，白陶的数量逐渐增多。由于窑炉的结构大为改进，已形成雏型的馒头窑，烧成技术和烧成温度都有所提高。随着采寻原料的范围逐步扩大，使得北方利用高铝低铁质粘土(坩土)制作白陶的面越来越广；同时，由于北方坩土的组成范围变化很大，有些含熔剂量高的粘土在较高的温度下可烧成表面稍亮和较为致密的陶器，即烧制成印纹硬陶。江南地区的粘土和瓷石原料一般含硅和熔剂量亦较高，在适当高温下可致密烧结，故也出现了印纹硬陶的制作和生产。因此商周时代的灰陶生产有逐渐减少的倾向。南方瓷石分布甚广，当时采料多在矿的表层和山角下，常混有易熔高铁质粘土，故 Fe_2O_3 含量在 2% 以上，如此选用的原料制作印纹硬陶还是比较方便的。印纹硬陶的铁含量高，表面氧化烧成后呈现红、褐等颜色的着色。商、周时期还出现了高钙质青釉，这种釉主要是利用草木灰作为含 CaO 的原料，与瓷石配在一起烧成的。浙江地区初期青釉的 CaO 含量很高，初步估计，如果用含 CaO40% 的草木灰配釉，草木灰的用量为 40～50%。商周时期灰陶的发明和探寻利用瓷石制胎配釉，为以后青釉瓷器的发明创造了条件和奠定了必要的物质基础。只是由于商周时期烧成技术还差，还不能使烧成温度达到 1200℃ 以上，否则也会使瓷胎致密烧结而制得质量较好的瓷器，因此，商、周烧制的高质量青釉陶器被称为“原始瓷器”。尽管这个名词不够科学和严格，但仍表明这一时期的制品已向瓷器的起始标准逐渐靠近。

夏商周时期，建筑业和冶铸铜器工艺都有一定程度的发展，陶瓷生产也适应这两方面的

应用作为一种新兴手工业而发展起来，如制造板瓦、筒瓦、陶水管、陶质坩埚、陶范与陶模等。这类陶器的生产和使用对当时建筑和冶铜工业的发展和技术的提高也有着很大促进。

至秦汉，由于大量兴建的需要，砖瓦等建筑陶器大量烧造。在陶器的成形，雕塑和烧成等技术上已非常发达，秦始皇陵陶俑坑的发掘充分证明了这点。大批类同真人真马的精制陶俑陶马都完美无缺地烧造成功，这是我国制陶工艺史上的辉煌成就。汉代，创造了铅质低温釉，主要是以 CuO 作为着色剂的绿色铅釉，其成分为以 PbO、SiO_2 为基的低熔点玻璃，这种釉在当时曾获得很大发展，用于制作丧葬的各种明器。至东汉晚期，浙江地区在继承以前制陶工艺的基础上，提高了烧成技术，使烧成温度达到近 1300°C，成功地烧造出了质量高的青釉瓷器[2~8]。从青瓷胎、釉的化学成分看，它是以瓷石原料制胎；以草木灰与瓷石混合制釉，在 1260°C 下即可致密烧结，显气孔率为 0.1～0.2%，釉面光润平滑，胎、釉结合牢固。以铁为着色剂的青瓷不要求白度和透光度指标，因此，东汉青瓷可说是达到了瓷器的一般标准。东汉晚期青瓷的烧制成功是我国陶瓷技术发展中的一个重大转折，也是对世界文明的巨大贡献。这也是以后越窑青瓷闻名于世的开端，浙江越窑瓷区在烧制青瓷的同时也烧制少量黑釉瓷器，其瓷胎成分与青瓷相近，釉则是高铁(含 4～5%Fe_2O_3)高钙质釉。东汉晚期，浙江窑区已普遍使用脚踏碓和水碓，当时多利用水碓粉碎瓷石原料并加以淘洗。从发掘实物看，在瓷器成形方面，东汉时期将带釉的起轴承作用的轴顶碗在陶车上使用，以改进陶车的速度和频率；施釉技术上也改进为浸釉；烧成上除能达到高温以外，还可控制还原焰的强弱和升降温速率以控制青瓷的质量。这说明，东汉晚期青瓷的出现和成功，是各方面技术上的突破和提高的结果，从此，它为越窑青瓷形成体系和完善打下了基础。

三国两晋南朝时期，浙江地区继续发展青瓷业，其中以越窑发展最快，瓷器质量最高，形成了体系。胎多呈灰色；釉呈淡灰青色，少数为青黄色。这种类型的胎、釉生产一直延续至唐、五代，在成分和胎、釉质地上均无多大变化，烧成温度波动在 1200～1270°C，个别达 1300°C。在原料使用上也大致相近，都是用各瓷区当地的瓷石作为主要制瓷原料。尽管制作青瓷的历史延续了几百年，但从地质变化上看时间还是短暂的，因而不同时期和不同产地所用瓷石在成分上的差别并不十分显著。德清窑是兼烧黑瓷和青瓷的窑区，从化学成分看，黑瓷胎中含铁量高(约 3%Fe_2O_3)，含钛量约 1%，与西晋青瓷胎相仿，胎中引入了少量紫金土(含铁质高的粘土)。为满足制作黑釉的着色要求，釉中亦引入紫金土使含 Fe_2O_3 约达 8%。长江中上游的四川、湖南、湖北和江西等地从三国或晋代已开始烧造瓷器，但质量还很差，都不及浙江越窑产品。江西丰城罗湖地区发现的南朝至隋唐的瓷窑区，就是以后洪州窑的所在地，所烧瓷器的瓷胎灰白，釉色以青黄、米黄为主，少数呈豆青色，釉层易剥落，质量亦差。在此期间，江南制瓷工艺上的一大改进是婺州窑首先采用化妆土，使粗劣胎质得到覆盖，以扩大使用原料的范围。施釉技术上普遍采用浸釉法，成形上除采用轮制之外，还进一步发展了模印、雕刻等工艺装饰方法。在龙窑的结构和烧成技术上都相应有了改进。

北朝时期，山东淄博为北方重要青瓷产地，胎灰白，釉色青黄不一，釉层常有剥落，质量尚差。据推测，北方青瓷的烧造中心可能在河南、河北一带，从河北和河南的发掘和隋代后期青瓷窑址的发现都间接证明了这一点，但在青瓷的质量方面总不及南方越窑青瓷。景县

封氏墓出土青瓷胎的化学成分为低硅高铝质瓷胎，与北方所产坩土的成分很相近。北朝时期，北方开始利用高铁质粘土配以钙质原料，如方解石制成黑釉。北魏以后，北方的铅釉陶器大为振兴，铅釉以黄、绿、褐三色并用和采用加彩的装饰方法。河南、山东和山西等地的墓葬中都曾发现有北朝的精美铅釉陶器，这为著名的唐三彩的发展奠下了基础。

北朝时期，已经孕育着白瓷制作和开发的萌芽，首要的条件是找到和使用含铁量低的适于制作白瓷的粘土原料，这类低铁原料是无法用淘洗加工含铁量高的粘土和瓷石的方法得到的，因为不论南方的瓷石还是北方的坩土，其含铁量随产地的变化波动很大，如果瓷石中的绢云母或粘土中的高岭石晶格中铁离子置换较多，淘洗后精泥中的铁含量反而会高于原矿。到了隋代，除继续烧造和发展青瓷外，根据考古发掘证明，已开始制作胎质较白、釉面光润的白瓷，即这时已找到和使用了含铁量甚低的制瓷原料。

唐、五代时期文化发达，经济繁荣，陶瓷业的发展取得了显著成效，陶瓷品种有了许多创新，并开始向国外输出，赢得了世界的赞扬。唐代以青瓷、白瓷和三彩陶器最为著名，形成了南青北白的局面。南方以浙江为中心，以制造越窑青瓷为主。晚唐、五代越窑青瓷的质量有显著提高。此外，尚有瓯窑、洪州窑和长沙窑等著名瓷窑区。长沙窑釉下彩的发明和河南巩县窑开始制作釉下彩青花瓷，也是我国陶瓷技术上标志彩绘技术和装饰进步的一项重要成就，对后来彩饰的发展影响很大。河北、河南为中心制造的白瓷和三彩陶器，其中著名的有邢窑、定窑、巩县窑和铜川窑。唐代在继承了隋代白瓷工艺的基础上达到了成熟，烧造地十分普遍。此外，蓝釉、黑釉、花釉的制作和绞胎瓷工艺技术的开创都为唐代陶瓷工艺技术的发展作出了贡献。南方制作白瓷最早在五代，有景德镇窑区的杨梅亭、石虎湾和黄泥头等处，尤以杨梅亭白瓷的质量较高。这对宋代以后景德镇影青和卵白瓷和元代以后白瓷的发展都有很大影响。

宋代陶瓷业发展十分迅速，由于技术上的改进和创新、质量的提高、生产量的剧增和生产上的细致分工和管理、各地区技术的相互影响以及出口贸易的促进，使宋代南、北方瓷窑的发展形成了体系。北方有定窑系、钧窑系、耀州窑系和磁州窑系；南方则有龙泉窑系和景德镇窑系。各窑系中，由于竞争和专为宫廷烧造的结果，出现了历史上颇负盛名的名窑瓷器。据记载，宋代有柴、汝、官、哥、钧、定诸名窑，除柴窑之有无尚无定论外，其余五大名窑均有精美瓷器流传于世。汝窑在今河南临汝县，以烧制铁着色的青瓷为主，有专为宫廷烧制的汝官窑青瓷和民用的临汝窑青瓷。汝官青瓷的釉色为蛋壳青色或淡天青色，极不易烧制，加之烧制时间短，流传于世的器物特别少，特别珍贵，故有宋代诸窑以汝窑为首的说法。临汝青瓷为艾青色之刻花、印花青瓷，另外尚烧制一部分类似于钧窑的天蓝、天青和月白色的汝均瓷，有时带有铜红着色的红色斑点装饰。据记载，官窑则有北宋汴京官窑和南宋官窑。由于汴京（今开封）曾为黄河水灾数次淹没，遗址深埋地下，加之水位很高，至今尚无法从发掘取得证实，但从传世实物与汝官窑的施釉支烧方法相同和以河南当地原料可以恢复仿制出高质量的官窑产品这两点上，佐证和支持了汴京官窑存在的说法[4]。北宋汴京官窑青瓷的釉色因受汝窑的影响，色泽有类似于汝官青瓷釉者，底用支钉支烧。南宋官窑在今杭州，有修内司官窑，至今窑址还没找到；另有郊坛官窑，在今杭州南郊的乌龟山一带，窑址已多次被发掘。瓷胎薄呈黑色，釉厚呈粉青、浅灰青、炒米黄等多种色泽。哥窑不见于记载，亦未发现窑址线索，因此

属何地烧造尚为悬案待定。据哥窑之传世品，其瓷胎有致密胎和粗砂胎两类，胎色则有黑灰、深灰、浅灰和土黄等色调；釉呈粉青、月白、油灰、青黄和米黄等各种色泽，釉面呈冰裂纹状。釉色变化除与含铁量有关外，烧成气氛和温度也是影响色调的主要因素。冰裂纹的大小则取决于胎、釉膨胀系数之差异。钧窑釉呈瑰丽多变的乳光釉，其天蓝釉也有深浅不一的色调，由于钧釉中使用了铜作为着色剂，在还原焰下烧成钧红釉；当混以不同比例的红、蓝着色剂和以磷作为乳浊剂时，由于釉所产生的不混溶的分相作用，形成了葱翠、茄皮紫、猪肝红、海棠红以及窑变花釉等各种色彩的装饰效果。定窑在邢窑白瓷的影响下相继创立了一套独自的制瓷工艺和风格，采用刻花、印花和划花为主的装饰方法，开我国白瓷艺术装饰用刻、印花技艺之先河。定窑白瓷釉使用白云石作为熔剂，形成了钙-镁质的透明釉，釉层特别薄。宋代定窑开创了覆烧的装烧工艺，并开始烧氧化焰，以定窑特有的乳白和牙白色而著称于世。此外，富铁着色的黑釉、酱红色釉和金彩描花以及金、银、铜等金属合金镶口等创造也极为著称。宋代除以上各大名窑之外，耀州窑的刻花青瓷，磁州窑的黑釉、白釉和釉下黑彩、褐彩以及剔花、划花等装饰，龙泉窑的梅子青、粉青瓷器，景德镇的影青瓷以及建窑、吉州窑烧制的黑色和褐色的各类铁结晶釉，诸如兔毫盏、油滴、玳瑁和铁锈花、茶叶末等都有大量生产。釉质之精美和装饰花样之丰富反映了宋代瓷业和技术的蓬勃发展，技艺精堪达到了极高的水平。在烧造各种色釉彩瓷和白瓷的同时，宋代也出现了许多红、绿、黄色的釉上彩，即所谓"宋加彩"的新品种。

元代对手工业的发展有所重视，制瓷业在继承宋、金瓷业传统的基础上也有所发展和创新。北方主要有钧窑、磁州窑、霍窑；南方则以龙泉窑、德化窑和景德镇窑为主要窑区。这些窑均仍继续烧造传统的瓷器品种，在技术上也都应当时的时兴为制作大形制品而努力提高和改进工艺技术。例如，景德镇开创了瓷石中混加高岭土以防止瓷胎变形的"二元原料"配方，提高了瓷器的烧成温度，增宽了瓷器烧成温度范围，改善了瓷器的质量和性能。与此同时，结合大形白瓷的制作，使以钴矿着色的青花和以铜着色的釉里红等釉下彩瓷的技术发展到一个新的阶段和水平。元代瓷器大量输出国外，对瓷业的发展和中外文化交流都起了积极的作用。

元代以后，明代日用陶瓷的生产遍及各地，在继承宋、元代已取得的成就的基础上，无论在技术和艺术上都取得了巨大发展。江西景德镇成为当时全国瓷业中心，它集中地代表了明代制瓷技术的高度水平。在原料的开发和精选加工，胎釉配方的改进，成形技术，施釉方法以及烧成和彩饰等一系列工艺过程上都有显著的创新和改革。白度很高的永乐甜白瓷的烧成表明了当时在探寻和选用低铁原料上下了功夫；"半脱胎"和"大龙缸"等的制成，说明了成形和烧成工艺技术已达到的高度水平。明代景德镇瓷业和制瓷技术所以获得大发展的原因之一是与设置官办御器厂有关，因为烧制的瓷器都是专供官用，在生产制作上监督管理严格，不惜工本，故生产出的瓷器的质量极高，青花瓷器的生产就是一个例证。青花瓷在明代发展成为瓷器生产的主流。永乐、宣德青花瓷的质细色浓，成为我国青花瓷器的黄金时代。由于各时期所用着色钴料的不同，青花彩色的色调也各异，但其质量都是很高的。明代彩瓷盛行，创造了许多新品种，如以釉下青花彩饰为主与釉上彩相结合的斗彩和填彩，成化斗彩在历史上获得了很高的评价。嘉靖、万历时期的彩瓷则发展到以釉上彩的五彩为主的青花五彩和纯粹的釉上五彩。中国的釉上彩是以低温硷质铅玻璃料为基础引入不同着色剂而制成的色料。这种色料烧敷在白瓷表面有五彩缤纷和宝石镶嵌的效果。另外，明代景德

镇还发展了许多单色色釉的品种，如低温的孔雀绿釉和浇黄釉，高温的霁蓝釉和铜红釉等也颇负盛名。明代，浙江龙泉窑烧造的青瓷质量逐渐下降，已变为胎粗釉薄的状况，失去了明代以前龙泉釉的玉质感。福建德化窑白瓷在技术上有很大发展，它具有独特的风格，有人们赞称的"猪油白""象牙白"的质感。德化白瓷在瓷质上的特点是，它是一种含高钾质的胎和钾、钙质釉，胎中 K_2O 的含量十分接近釉，都在 6% 左右，加之含铁量甚低，着色很浅，致使胎釉给人以近乎一体的感觉。胎中所含玻璃相相当高，透光度也特别好，以德化白瓷塑雕成的人物和观音像，线条细腻，轮廓清晰，层次分明，胎釉通体有透明玉感，确有光润明亮、白如凝脂的质地美，且具素雅的风韵。江苏的宜兴窑生产的紫砂陶器到了明代也很著名，这类紫砂陶器烧成的致密度很高，气孔率一般小于 2%，可算细陶器中是质量很高的一种。按国外的分类标准，可将其归类为"炻器"。由于我国古代没有"炻器"这一名称，故将其归属陶器。

清代窑场分布较广，仍以景德镇为中心，它继承了明代制瓷技术的优秀传统，并加以发展和创新，使清代初期和中期瓷业的发展达到了历史上空前的高峰。瓷器的种类十分丰富，除明代已有的品种外，这一时期创造出了更多的新品种，诸如釉上粉彩、珐琅彩、墨彩、乌金釉、天蓝釉、珊瑚红、各种高、低温色釉，以金为着色剂的胭脂红以及仿木、竹、铜、漆器等的瓷器。此外，对清代以前留传下来的品种也有所发展，如从铜红釉发展出了郎窑红、霁红和豇豆红；同时，清代在仿制宋代诸名窑方面也取得了很高的成就，其中仿哥、仿汝、仿钧、仿官等制品极佳，甚至有的质量和精美程度超过前代的制品。清代后期，特别是鸦片战争以后，由于封建统治阶级的没落和外国资本主义的入侵，我国沦为半封建半殖民地的社会，制瓷工业受到严重摧残，陶瓷工业处于萧条不振、日暮途穷的局面，传统技术亦逐渐失传。因为在以往的封建社会里，制瓷技艺一直是一家世代相传，严守秘密，加上缺乏文字的记载，致使许多宝贵的制瓷经验无法相传，这是我国制瓷史上的莫大损失。

解放后，陶瓷工业的振兴受到党和政府的重视和关怀，二十世纪五十年代，景德镇瓷区的陶瓷工业首先得到了恢复和发展。一方面，依靠老工人总结传统的制瓷技术和宝贵经验；另一方面，组织有关科学研究单位的技术力量，致力于传统名瓷的研究、恢复和发展，从科学技术的角度，对传统名瓷系统地进行了科学总结。自五十年代开始，中国科学院冶金陶瓷研究所组织了以周仁先生为领导的中国古陶瓷研究组，与轻工业部所属硅酸盐研究所和景德镇陶瓷研究所合作，从景德镇所用典型原料及古瓷标本的研究入手，对景德镇瓷器制作工艺和胎釉质量进行了科学总结和研究，使景德镇瓷器恢复到康熙乾隆的历史水平，并完成了当时国家用瓷和礼品瓷的试制任务，从而推动了景德镇瓷器质量的提高。六十年代初，该研究组归属于中国科学院上海硅酸盐研究所，又与轻工业部硅酸盐研究所和浙江省轻工业厅及龙泉瓷厂合作，在文物考古部门和瓷区领导部门支持下，研究和恢复了龙泉青瓷，取得了较大的成就。解放初期，全国各地都相继成立了有关陶瓷方面的研究所，对陶瓷工艺和美术的发展进行了大量研究工作。此外，许多高等学校相应设置了陶瓷系和专业，培养了大批专门人材，逐步壮大了陶瓷行业的技术力量。近年来，南、北方许多古窑址和墓葬在考古和博物馆部门的发掘下取得了许多实物资料，与科学院和各地科学研究单位协作，从科学和工艺技术角度进行了大量古代陶瓷的研究工作，这对古代名窑瓷器的恢复和发展提供了极有价值的科学依据。由于各名窑瓷区和研究单位的配合和合作，各名瓷品种大都已逐渐恢复，在质量上也已接近和达到历史水平，如河北省的定窑白瓷、德化窑白瓷、龙泉青瓷、浙江仿南

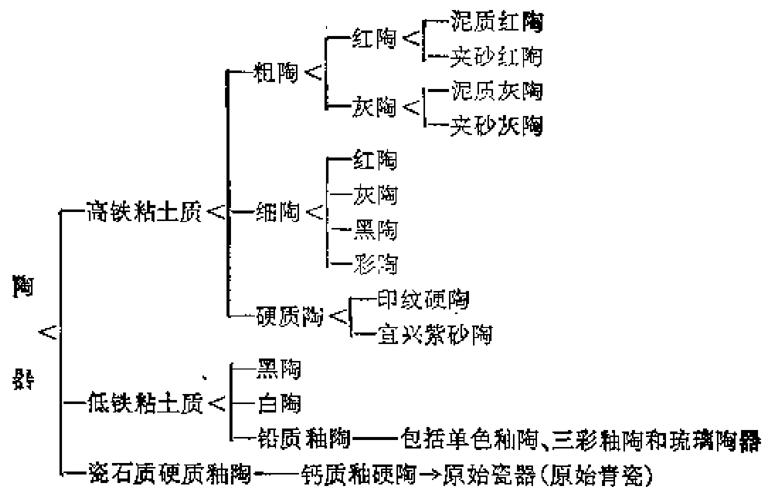
宋官窑和开封仿北宋官窑青瓷、钧窑和耀州窑瓷器、建窑的各类黑釉瓷以及宜兴的紫砂陶器等，均有较高成效。各地产品在1982年11月于上海举行的"中国古代陶瓷科学技术国际讨论会"上展出时曾受到国内外专家的好评和赞赏。1978年在浙江召开的"全国古陶瓷学术会议"和1982年与1985年在上海和北京分别召开的两次"中国古代陶瓷科学技术国际讨论会"，对我国历代各名窑瓷器的深入研究和恢复发展起了很大的推动作用，系统揭示了我国古代陶瓷的科学和工艺技术以及艺术和考古等方面的巨大成就。

二、中国传统陶瓷的概念和分类

"陶瓷"这个名词从我国陶瓷发展历史看，一般包括陶器和瓷器两大类。胎体没有致密烧结的粘土和瓷石制品，不论有色或白色，称为陶器。经受较高温度、烧结程度较高者称为硬陶；施釉者称为釉陶。胎体基本烧结的有色或白色釉质高的粘土和瓷石制品称为瓷器。实际上，中国传统陶瓷的发展过程历时相当长久，种类非常繁多，加上工艺上的复杂因素，如果按照一般的工业性能指标来精确划分陶器和瓷器类别，对中国传统陶瓷加以分类，还是不切合历史发展实际的。中国传统陶瓷的发展是由制作日用性器皿开始，随着社会经济和文化的发达和文明的提高，逐渐发展了供观赏装饰和陈设用的艺术瓷，自然在传统的分类概念上对瓷器的评价更重视外表的釉质，对胎质相对就不那么求全了，如有许多名窑瓷器，特别是颜色釉瓷器的胎尚具有一定气孔率，其釉的质量却相当高，但按传统的分类和称法都称它为瓷器，宋代五大名窑之一的汝窑瓷器就是最明显的例子。单按其胎质的指标考虑，应该归属于硬质陶器，胎的气孔率较高，未完全致密烧结瓷化，但古代工匠却是利用胎质在高温下具有一定气孔率的吸附作用来减缓釉的流动性，不致使釉在高温下严重流釉，而保持釉层的均匀附着；另一种作用是利用胎在烧成末期的收缩过程中向釉层排出气泡，靠釉的粘性使气泡留在釉中而使釉质增大乳浊效果。这些都说明胎的生烧有时不一定是瓷器的缺点，反而是改善釉质和增添釉的装饰效果的一种方法。又如，部分官窑瓷器为了衬托釉质古雅沉静的艺术效果，在胎中加入紫金土提高其含铁量而着成黑色，如果从现行的茶餐具日用瓷要求的指标衡量，不应划入瓷器的范畴，古人所以将官窑青瓷列入瓷器一类，也是考虑其艺术效果，并不认为这是不够瓷器标准的一种欠缺。因此，中国传统陶瓷的分类除考虑现行的技术指标外，尚需考虑中国陶瓷发展的历史实际，从历来传统的综合评价及对瓷器和陶器的习惯分类，结合古今认识上的变化，从其本质和技术及艺术特征上加以研究，使其合理地划分归类。

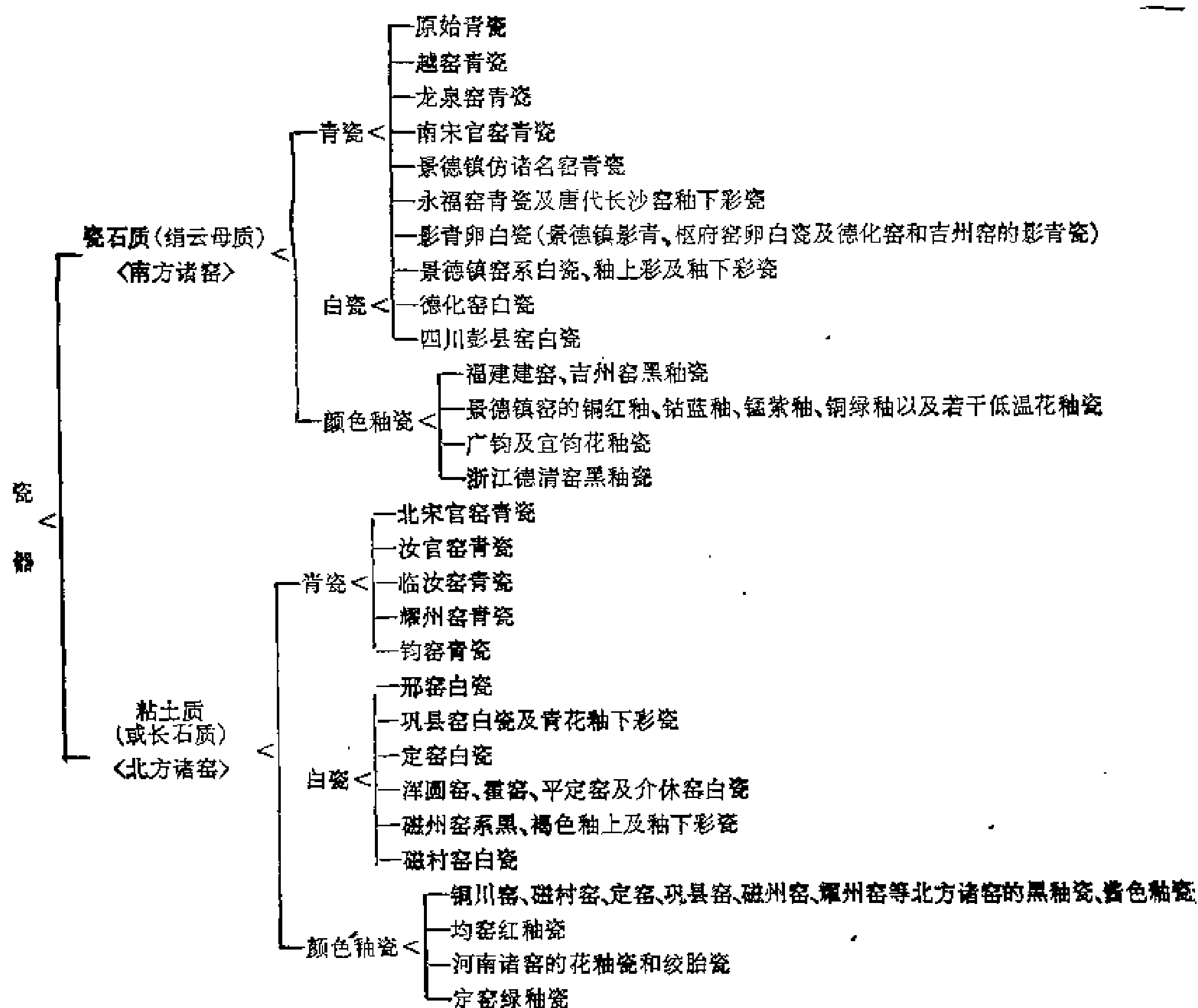
按胎质的化学矿物组成和物理特征，大体上可将中国的陶器分成三大类，即高铁粘土质陶器、低铁粘土质陶器和瓷石质硬质釉陶器。高铁粘土质陶器可分为粗陶、细陶和硬质陶三类。粗陶又分为红陶和灰陶，主要取决于烧成气氛是还原焰还是氧化焰；细陶除红、灰两类陶器之外尚有彩陶和黑陶；硬质陶则分为印纹硬陶和宜兴紫砂硬陶两大类。低铁粘土质陶器可分为黑陶、白陶和低温铅质釉陶三类，这类陶器比高铁粘土质陶器质地细致，胎的铝含量高，即制胎所用原料中高岭含量较高。瓷石质硬质釉陶器实质上是一种以瓷石制胎、以瓷石和草木灰配制高钙质釉的陶器，由于烧成温度偏低，胎质粗偏生气孔率高和釉层较薄，质量尚达不到瓷器的最低标准，考古学者将它称作为"原始瓷"，实际表明这类器物在很多方面还处在瓷器的"原始"状态。但"原始"两字很难从技术上给出确切界限和量的权衡，因此在工艺上分类时，似将它归于硬质釉陶更确切，这并不意味埋没它对瓷器发展的前身作用。

按照技术性能可将陶器作如下的大致分类：



瓷器的品种较多，包括范围也较广，但就其原料产地的特点划分，可分为南方和北方瓷器两大类。南方诸省富产高硅质的瓷石，瓷器的产生和发展主要是依靠这类瓷石原料，因此南方瓷器具有高硅质的特点。瓷石中主要作为瓷器的熔剂矿物成分是绢云母，故也常称它为绢云母质瓷器。北方多产含铝量高的粘土(俗称坩土)，因此北方瓷器可称为粘土质瓷，或因氧化铝含量高而称它为高铝质瓷器。由于北方瓷器胎、釉中有时常取长石作为熔剂成分，因此也可称它为长石质瓷。不论是南方还是北方，按釉色的不同都可分为青瓷、白瓷和色釉瓷三大类别。青瓷产生最早，发展历史最长，生产地区和范围也最广，它是由自然界分布最广的着色元素氧化铁作为着色剂而呈现青色的。为了表达青瓷的原始性阶段，将原始青瓷亦列入了瓷器的分类中。白瓷是以着色杂质含量极少的原料制作的瓷器。如果胎、釉原料中含有少量钛、铁的氧化物则会形成微黄或微青色的瓷器，如含铁量在0.8～1%范围则会形成一种微带青色的白瓷，介于青瓷和白瓷之间，所谓影青瓷和卵白瓷都属这一类。色釉瓷则包括除青瓷以外的所有颜色釉瓷器，诸如以铜作为着色元素的红釉，以钴着色的蓝釉，以高含铁量着色的黑釉或褐色釉以及以锰着色的紫色釉和以钛、磷乳浊的花釉。低温色釉瓷种类也不少，其基釉以铅釉为主体。釉上彩瓷和釉下彩瓷亦分属于白瓷范畴。在瓷器的大类中虽属同类，但其色调因窑口而异，例如，青瓷中龙泉青瓷以梅子青和粉青为其主要特色色调，耀州窑青瓷则以橄榄青为其主要色调，临汝窑青瓷以艾青为主要色调；白瓷中定窑白瓷的牙白色调与德化窑白瓷的猪油白以及与景德镇的历代白瓷又各有绝然不同的色调。这是由于各窑所用原料和工艺上的差别赋与瓷器显现不同特征的缘故，因此，按窑口分类更容易显示传统瓷的本色。各名窑瓷器可作如下的大致分类

中国传统瓷器由于艺术欣赏方面的要求，更加重视釉色和釉质的改进。因为釉面显露在外表，直接影响瓷器的艺术效果，因而瓷器的分类在一定程度上会受到诸窑产品釉的艺术特点和风格的影响，同时造型和装饰也很重要。这里按窑系分类也是考虑到历来传统分类所流传着的概念。其中包含着艺术的影响因素。此外，各窑之间在瓷器品种上也有许多类同的地方，如景德镇窑、吉州窑和德化窑都烧制影青瓷；浙江德清窑、福建建窑、江西吉州窑、北方的铜川窑、定窑、磁州窑及磁村窑均烧造黑釉瓷；青釉瓷烧造的窑口则更多。因此，按窑口分类不可避免地在品种上会形成交叉和重叠，但如此分类还比较切合传统瓷器发展的实际情况。



三、历代各名窑的分布

中国传统陶瓷发展进程中各名窑的出现，除与社会需要和社会条件有关外，技术条件也是十分重要的，如原料和燃料资源的存在、开发和利用就是最必要的条件。实际上，名窑所在地和发展区往往是瓷石或粘土矿物原料产地，同时也出产木材或煤炭。南方的浙江、江西、福建一直延伸至安徽，有大量瓷石矿藏，森林木材也分布甚广，因而浙江成为最早出现瓷器的地方，有名的越窑、龙泉窑和南宋官窑都处在浙江。福建的德化窑和建窑、景德镇历代诸窑也因具备同样条件都成为大量生产瓷器的著名窑区。北方的河南、河北、山西、山东一带是富产煤的地区，同时也盛产坩土矿物和石英、长石、白云石等原料，这些地方自唐宋以来也一直成为盛产瓷器的重要瓷区。唐代以前，著名窑区主要分布在浙江，越窑青瓷在较长的历史时期内占据着重要位置，至唐、宋时期，瓷器生产遍及南北各地，形成许多著名窑区，大量生产享有盛名的陶瓷器。元、明以后，瓷器的生产则主要集中在景德镇。唐、宋时期诸名瓷窑区的分布示于图 1-2。从图中可见，唐、宋时期瓷器的生产已形成巨大规模。

考古发掘工作发现，各名瓷窑区的窑址并非在同一地点延续烧造瓷器，而是随着利用原料、燃料以及水源的方便分散在或迁移到不同地点，如定窑就有涧磁村和燕川村两大主要窑址区；景德镇地区则有湖田、湘湖、杨梅亭、御窑厂等区；龙泉窑地区则有大窑、金村、溪口等数十处窑址区；汝窑有宝丰大峪店、严和店、东沟窑等窑址区。图 1-3 示出了各名瓷窑区的地理

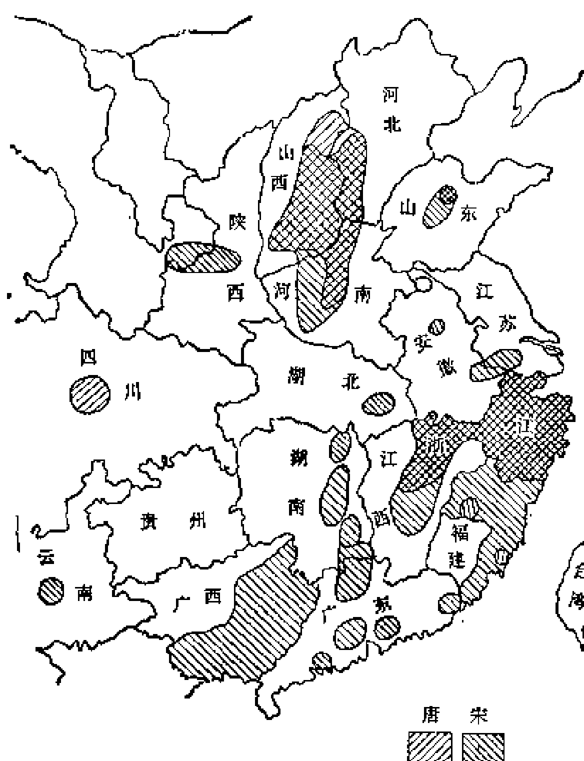


图1-2　唐、宋时期主要名瓷窑区的分布

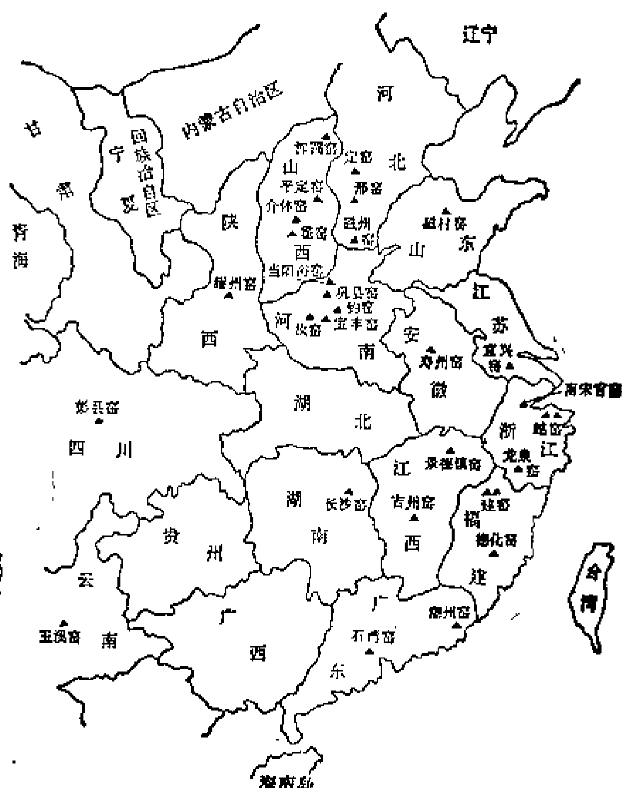


图1-3　各名窑瓷区的地理位置

位置。南方主要窑区的分布多集中在浙、赣、闽等省，北方主要窑区则集中在晋、冀、豫等省。

四、《陶记》和《陶冶图编次》

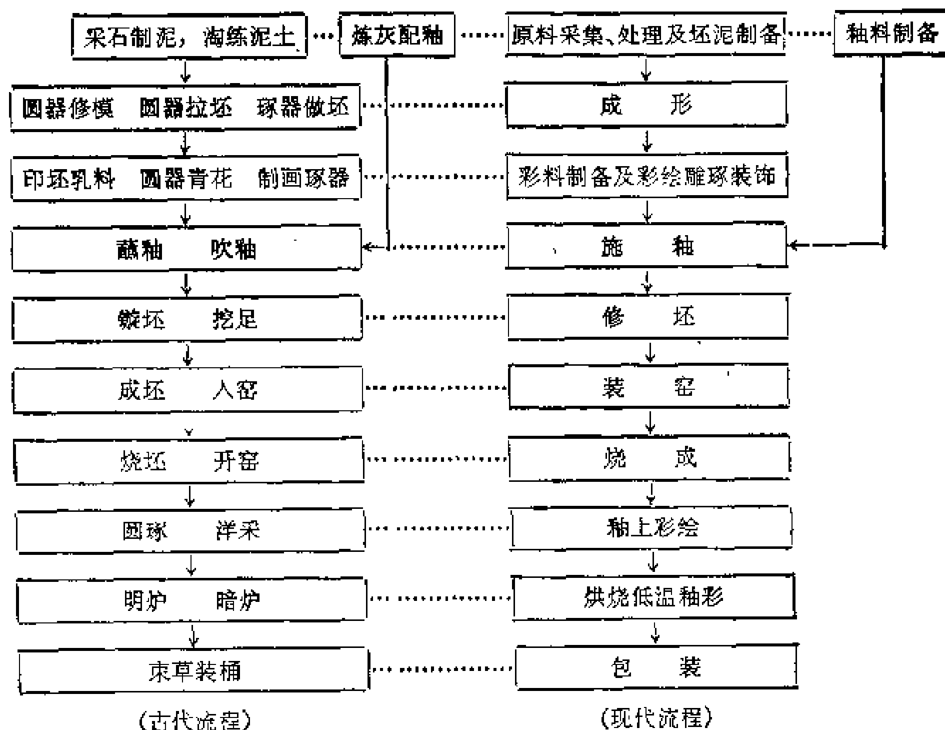
从瓷器发明至今历时一千余年的名瓷生产中，广大瓷区的制瓷艺人的丰富经验主要靠口授方式相传，由于封建社会长期统治和重文轻工制度造成的恶果，有关我国古代名瓷工艺技术方面的比较确切而又详细的文献实在不多。就制瓷工艺技术而论，仅蒋祈的《陶记》和唐英的《陶冶图编次》两部著作可算是比较详细地记述工艺的文献资料。

蒋祈《陶记》一文的著作年代是南宋还是元代尚有争论和不同见解[5,6]。这一著作是我国第一篇专论景德镇制瓷工艺简况和瓷业经营情况的文献和世界上最早的瓷器工艺方面的论著。专论中记述了胎、釉的配制和采用的原料。文中记有"进坑（距景德镇东8公里多的地方）石泥制之精巧，湖坑、岭背、界田（三处分别为今湖田以南的三宝蓬、景德镇南与乐平县的交界和景德镇东北30多公里的界田村）之所产已为次矣"，指明了当时选用原料各产地的质量优劣之差别。文中亦记述了用作制匣钵的原料和制模型的原料的产地，"攸山、山槎灰之制釉者取之，而制釉之法，则石垩炼灰，杂以槎叶木杮火而毁之，必剂以岭背'釉泥'而后可用"，这段文字讲述了釉的配制，与现在所用传统的制釉方法基本一致。"或覆、仰烧焉"，说明当时采用两种装烧的方法。烧成时，"以验生熟则有火照"，即以取试样的方法确定和检验烧成温度是否适当。文中还简述了制作的分工，"陶工、匣工、土工之有其局；利坯、车坯、釉坯之有其法；印花、画花、雕花之有其技，秩然规制、各不相紊"，说明当时按工艺程序的分工是各专其职的，各有其专长技术，从事有条不紊的制作工艺。此外，文中又概述了当时的销售、经营、管理和税收等各种情况和当时景德镇瓷业不繁荣的原因。《陶记》一文虽然文字简

练，但对各主要制瓷工艺环节有了一个简要的记述，这在当时是十分重要和可贵的。为后人研究制瓷工艺发展历史也提供了十分宝贵的资料。这方面的详细资料可参阅"景德镇陶瓷"杂志 1981 年出版的《陶记》研究专刊。

《陶冶图编次》是由清代景德镇御窑厂督陶官吏唐英所著。唐英既是一个苦心钻研、勤于好学制瓷工艺的人，又是一个才华横溢，精通文、画、书法、篆刻的人。在他督理陶瓷业务期间，清代瓷器工艺技术达到了登峰造极的水平，除了景德镇广大制瓷工匠、艺人的努力外，唐英也有不可抹煞的功绩。1982 年，为纪念他诞生三百周年，"景德镇陶瓷"杂志出版了专辑，并在专辑中编写了唐英瓷务年谱长编和一览表[7]。唐英编的《陶冶图编次》是一份最详细地记述制瓷工艺的历史资料，可以说是古代留下来的有关陶瓷制作的简要工艺学。尽管记述简要，内容却十分完整，加上图示，使人更易于理解和接受。《陶冶图编次》中包括的陶瓷制作工艺过程基本上按流程的顺序表示，完全是实际生产流程中各工序的写照。该文共计有二十幅图和工序的操作解说。解说中把工艺要点、步骤方法、工艺条件和事项均作了简要阐明。图 1 为"采石制泥"，文中阐明了原料产地、原料质量的辨别，用水碓处理的方法和适于细、粗各类器皿的原料产地，生动地示出了在山区开采、堆碎和运送的情况。图 2 为"淘练泥土"，文中叙述了以水缸淘洗的方法，"多以水缸淘泥，木钯扰标起渣沉过以马尾细箩，再澄双层绢袋，始与注过泥匣钵，俾水渗浆稠……"，又叙述了吸水制泥的方法，并指明不同瓷胎需使用不同配方，示出了分缸淘洗、过箩、匣钵渗水以及练泥的情景。图 3 为"炼灰配釉"，文中指出"无灰不成其釉"，突出了灰是配制釉的主要成分。釉灰是用石灰石和凤尾草迭叠烧炼，用水淘洗细者而成的。釉浆则是以釉灰和瓷石淘出的细泥按既定配方比例调配而成。上等釉的比例为细泥与灰之比约 10:1；中等釉的比例为 8:2 至 7:3，粗釉之比为等比或灰多泥少。图中示出了釉灰烧炼，釉浆调配等情景。图 4 为"制造匣钵"，文中阐述了使用匣钵的必要，匣钵的原料产地、制作方法和预烧后使用的要求，图中示出了控制匣钵和挑送的情况。图 5 为"圆器修模"，文中阐明了模子制作时必须放大，烧成后收缩到原样七、八成的大小，模型要修数次后尺寸方能吻合，必须按窑火和泥性计算出的尺寸修整模型，图中示出了修坯的实况。图 6 为"圆器拉坯"，主要讲述圆器用拉坯制作，如盘碗盅碟等。拉坯是"以竹杖拨车旋转，双手按泥随手法之屈仰收放以定圆器款式，……"。图 7 为"琢器做坯"，讲述瓶樽之类的器物，圆者也采用拉坯制作。镶方棱角的器皿则是以泥调糊粘合泥片制作；印坯则从模中取出后以制方形器物的方法制作。图 8 为"采取青料"，文中表明了青花色料原矿产地在浙江者质较优，江西、广东诸山间产的钴矿色淡，只用于粗瓷。采钴土矿时在山间挖取后，洗去浮土，色黑黄大块圆形的称为顶圆子。钴土矿需埋入窑内煅烧三天，取出淘洗后即备用或出卖。图中示出了挖取钴矿的情景。图 9 为"拣选青料"，文中叙述了选料分级之情况，有黑丝光润的为上等料，用于仿古、细瓷青花和霁青釉；黑绿而鲜润者用于粗瓷，无光色者弃而不用。青花瓷过烧后画色易流散，只有韭菜边（一种 MnO_2 含量高的锰土矿）用于钩画细描。图中示出了在水洗下的拣选情景。图 10 为"印坯乳料"，文中表明半干坯需用模型套印修整均匀备修，并告戒湿坯不可日晒以防开裂。画瓷用颜料必须研细，每一乳钵一次研十两，必须人工研一个月之久方可使用。研钵放置于矮凳上，凳端装有孔支架供乳槌柄定位转动用，人坐凳上，手握槌柄进行研细操作。图中示出了印坯和乳料分别在专用作坊中操作的情景。图 11 为"圆器青花"，文中指出了钩画和染色的分工流水作业的情况。画边线则由上镟坯工负责，而底心的款铭则专有工匠进行。图中示出了画和染分室进行的情景。图12为"制画琢器"，

文中说明了琢器中器形有方圆的区别，制画装饰上也有彩绘和镂雕的区分。装饰的图纹设计要遵循古时的锦缎刺绣，色彩看起来象春天的亭台楼阁。要有大量的有关官、哥、汝、定、钧各窑的样品提供仿制。绘画的题材应该来自山林河川……。说明了装饰彩绘应遵循的方法和事项。图中示出了彩料的加工和彩绘的情景。图 13 为"蘸釉吹釉"，文中说明了釉下彩和颜色釉均要施釉后入窑烧成。釉的上法主要有蘸釉和吹釉两种，小尺寸的器皿采用蘸釉，大形器皿采用吹釉。吹釉的次数需依照坯的大小和釉的种类而定，少者三、四遍，多者十七、八遍。大坯蘸釉易破损，毛笔搨釉则不均匀。图中示出了蘸釉和吹釉以及制备釉浆的情景。图 14 为"镟坯挖足"。文中阐明了镟坯系用专用的车盘进行，车上有包以丝锦的木桩，将坯扣在桩上，以刀车镟光平，其质量则取决于镟工的技术水平。挖足工序乃是将拉坯时所留之长把柄挖掉，这种把柄是为了便于画坯吹釉的操作方便留下的，待彩画吹釉完毕，即应镟去，并挖出底足供写款用。图中示出了镟坯挖足操作和写款的情景。图 15 为"成坯入窑"，文中指明了窑的大小和形状及烟筒的高度和位置。将坯装入匣钵之后，送到专门烧窑的地方再装入窑室，匣钵是按行叠列，中间留火路。窑中火焰和温度分前、中、后三个部分。前面火烈，即温度高；中间火缓，温度适中；后面火微，温度较低。装放窑位需依釉的耐温高低而定，装完后点火烧窑。燃料系用松柴，不停地投入窑内，待燃至匣钵呈银红色后停烧，等一昼夜再开窑。图中示出了装窑的繁忙情景。图 16 为"烧坯开窑"，文中记述了装窑到出窑的时间约为三天，第四天早上开窑。开窑后要趁热取出匣钵，窑内温度很高，需用十几层布制成的手套蘸水防护手和以湿布包头、面、肩背方能进窑取出匣钵。出好窑后立即装新坯入窑，借窑温将新坯烘干，以防裂损。图中示出了包头出窑的人和肩运送柴的情景。图 17 为"圆器洋采"，文中描述了白瓷彩绘釉上彩的方法。彩绘者要眼明心细，试烧以熟悉掌握彩料的性能。调色有三种方法，即用芸香油、用胶水和用清水。油便色便于渲染；胶水便于搨抹；清水便于堆填。图中示出了各种彩绘的运笔姿态和情景。图 18 为"明炉暗炉"，文中讲述了明炉和暗炉的用途、结构和使用方法。小件用明炉、大件用暗炉，烧低温色釉和烧彩的



(古代流程)　　(现代流程)

方法相同。图中示出了明、暗炉的烘烧情景。图19为“束草装桶”，文中叙述了瓷器成品按类和等次拣选后包装的要求。上等货以纸包装桶；二等圆器则以草包扎装桶；粗瓷则以茭草直缚，外缰以竹篾。图中示出了包装情景。图20为“祀神酬愿”，记述了景德镇窑民经营瓷业制造瓷器寄希望于神的奉祀情景。由上述可见，唐英的《陶冶图编次》是古代制瓷工艺流程最完整的记录。如果将各工序连成工艺流程，可示于上图左面，右面为现代流程，以资对照。

五、中国陶瓷对世界的影响

据考古发现，早在我国唐代，陶瓷器的产品已输出到国外，经由“丝绸之路”运往中亚和西亚地区；通过海路也传到了巴基斯坦、埃及以及古代南海航线沿岸的一些国家。其中有越窑青瓷、邢窑白瓷、长沙窑青釉褐彩瓷和三彩陶器。入宋以后，国内瓷业日益兴旺发达，对外输出也急剧上升，瓷器发展成为我国独有的世界性商品。由于宋代王朝重视外贸，在东南沿海的广州、杭州、泉州、明州设立对外贸易机构和派人专门经营贸易。国外不少商人也来我国经商贩运瓷器，当时除东亚、西亚、南亚地区外还有非洲东海岸的许多国家。我国输出的瓷器中有青瓷、白瓷和青白瓷及部分黑瓷和磁州窑系的瓷器。元代的对外贸易大大超过了宋代，输出的瓷器主要由南方诸窑烧造，如龙泉青瓷、景德镇的影青卵白瓷和青花瓷以及福建地区烧造的青瓷和影青瓷。从菲律宾、马来西亚、印度尼西亚和朝鲜、日本大量发现的中国瓷器碎片中，有力地说明了元代瓷业对外贸易的数量是可观的。明代民间的海外贸易十分发达，瓷器的输出随着增加。至十六世纪，葡萄牙人已成为当时西方在远东进行贸易的主要势力，将中国瓷器运往欧洲。1062年，荷兰曾设立东印度公司，承运中国瓷器贩往西方，据记载，当时借轮船载运的数量每年都有几十万件之多。这表明我国瓷器不仅畅销亚、非各国，也大量销售到欧洲。出口瓷器还包括一些按西方市场需要订购的产品，特别是青花瓷器占据非常大的比量，几乎遍及亚、非、欧、美各国。外销瓷中除景德镇生产的精细瓷器外，还有一部分福建和广东等地制造的质地较粗的瓷器。清代，中国瓷器在欧洲的影响更大，中国瓷器不仅作为日用品输出受到各国的喜爱，而且成为一种装饰艺术品和高贵的礼品风靡于西方社会。清代除向美洲、非洲、澳洲、东南亚、马来西亚等地区贸易输出瓷器之外，开始大量向欧洲倾销，据统计，每年运销欧洲的瓷器达300万件之多。十八世纪时，英国、法国、荷兰、丹麦、瑞典在广州相继设立了贸易机构，为促进中国瓷器的外销提供了有利条件。当时外销瓷器中有相当一部分是按外商的要求特制的适应欧洲市场的产品。当时，德、法、英、意等国都开始仿造中国瓷器，外销瓷器虽一度受到影响，但订购数量并没有明显减低。十九世纪以后，日本和欧洲瓷器的发展和竞争对中国瓷器生产的威胁很大，特别是鸦片战争以后，制瓷工业逐渐趋于衰落，外销瓷器受到了巨大影响。

中国瓷器品质优良，深受外国人喜爱，在古代，运到国外的瓷器身价高于黄金，外国人总想能够学到中国制瓷技术的秘密来仿制中国瓷器。最早是埃及人仿制宋代瓷器，但瓷质远不及中国瓷器。十五世纪，朝鲜仿制中国的青花瓷器得到成功，同时，日本和越南等国也仿制中国青花瓷。明正德时期，日本曾派人到中国景德镇学习制作青花瓷技艺。清初，日本也曾派人来学习制瓷技术，这是我国制瓷技术的东传。欧洲的意大利曾于1470年首次学得了中国瓷的制作技术，并制出了青花瓷碗。随后，荷兰又从意大利学到了中国瓷的制作方法。清康熙五十一年(公元1712年)和末年(公元1722年)，法国传教士 Pere d'Entrecolles(汉

名殷弘绪）曾两次将景德镇制造瓷器的实况和工艺制作的详细经验及技术方法搜集整理成资料，作为长信分别寄往法国[8]，对促进欧洲仿制中国瓷器起了很大作用。公元1850年Ebelmen与Salvetat、1900年Georges Vogt分别对景德镇的制瓷原料、坯泥、釉彩料和色釉等进行了化学和矿物成分分析，并写成论文发表[9,10]，这些分析研究工作对中国传统名瓷从科学技术的角度有了更深入的认识。自此以后，世界各国，特别是英国、法国、日本、德国、瑞典等国家的科学家、艺术家和考古学家们对中国陶瓷的研究更加广泛和深入。近年来，各国对中国陶瓷的研究工作更加活跃，研究的人数也越来越多[11~17]。1982年，中国科学院上海硅酸盐研究所和中国硅酸盐学会在上海主办了中国古代陶瓷科学技术国际讨论会；1985年，中国硅酸盐学会在北京主办了第二届中国古代陶瓷科学技术国际讨论会。两次会上，来自英国、美国、日本、法国、瑞典、马来西亚和菲律宾等国的学者专家与中国古陶瓷研究工作者交流了研究成果，为促进国际间对中国古陶瓷的研究，增进各国学者兴趣，扩大中国陶瓷对世界的影响都起了积极作用。除了国外有人来中国学习技术之外，中国的制瓷技术和工人也曾在国外烧造瓷器，这对中国瓷器制作技术的外传也有一定影响。

从中国瓷器长期以来的大量输出和销售国外和技术外传的一系列历史事实表明，中国瓷器对世界各国文化艺术和生活的影响是十分显著的，对世界制瓷技术的发展和推动作出了巨大的贡献。

参 考 文 献

[1] 中国硅酸盐学会编，《中国陶瓷史》，文物出版社p 1~86，(1982)

[2] 郭演仪、王寿英、陈尧成，“中国历代南北方青瓷的研究”，硅酸盐学报，8[3]，p 222~243，(1980)

[3] 李家治，“我国瓷器出现时期的研究”，硅酸盐学报，[3]，(1978)

[4] 何浩庄、刘海诗、郭演仪，“北宋官窑青瓷的研究和试制”，第二届中国古代陶瓷科学技术国际讨论会论文，1985年11月，北京

[5] 刘新园，“蒋祈《陶记》著作时代考辨”，景德镇陶瓷，《陶记》研究专刊，(1981)

[6] 熊寥，“蒋祈《陶记》著于元代辨”，景德镇陶瓷，总第二十期，(1983)

[7] 纪念唐英诞生三百周年专辑，景德镇陶瓷，总第十四期，(1982)

[8] PERE d' ENTRECOLLES, "LETTER I and II", (Tranlated by Robert Tichane, 《景德镇》 published by The New York State Institute for Glaze Research, Copyright 1983 by Robert Tichane.)

[9] J. J. EBELMAN & L. A. SALVETAT, "Researches on the composition of Chinese Porcelain" (Translated by Robert Tichane, 《景德镇》 Published by The New York state Institute for Glaze Research, Copyright 1983 by Pobert Tichane)

[10] Georges Vogt, "Studies on Chinese Porcelain", (Ibid)

[11] 内藤匡，《新訂古陶瓷の科学》，(1974)

[12] ROBERT TICHANE, 《THOSE CEADON BLUES》, The New York State Institute for Glaze Research, (1977)

[13] ROBERT TICHANE, 《REDS, REDS, COPPER REDS》, The New York State Institute for Glaze Research, (1985)

[14] M. S. TITE, I. C, FREESTONE and M. BIMSON "A Technological Study of Chinese Porcelain of the Yuan Dynasty", Archaeometry, 26 [2], p139~154 (1984)

[15] M. MEDLEY, 《Ting and Allied Wares》 London, 1980

[16] 李汝宽，《中国青花瓷器の源流》(井垣春雄訳) 雄山閣出版，(1982)

[17] Rose Kerr 《德化窯、宜興窯、広東窯》(花岡紀代子訳)，世界陶磁全集第十五卷，201~227

第二章　南北方制瓷用原料

RAW MATERIALS USED FOR SOUTHERN AND NORTHERN PORCELAIN

中国各名窑烧制的瓷器各具特色，均与所用原料的种类、组成、结构、性能和加工处理有密切关系，原料的质量好坏不仅影响瓷器制作中的加工性能，而且影响最后产品的外观质感和艺术效果。自古以来，南、北方各瓷区均以就地取材方式使用原料，在开发和使用原料方面都有其独到之处。我国制瓷用天然矿物原料资源极为丰富，分布甚广，特别是南方的瓷石和北方的粘土各省都有，所以形成了瓷区遍及各地的局面。

在南方，浙江地区由于使用了瓷石原料，首先在东汉晚期烧制成功了青釉瓷器。单用瓷石制胎，瓷石加草木灰制釉，在1270°C左右烧成了胎质致密、釉面光平的青釉瓷器。以后，又选用了风化程度高的瓷石制胎，以釉灰代替草木灰混以釉石制釉，进一步提高了瓷器的质量。景德镇自元开始采用将高岭土加入瓷石中制胎的方法，逐步使瓷器的质量有了更大的改善和提高。北方则以粘土为主要原料配制瓷胎，有些窑区配入少量长石或白云石以促进致密化。此外，用粘土、石英加长石、木灰、方解石或白云石等熔剂原料制备釉。为了着色需要，尚使用一些含铁量高的紫金土、钴土矿等作为胎釉着色原料。总之，从陶瓷的开创和发展过程看，中国名瓷的技术进步和创新提高，最基本的是依靠原料的就地开发和合理利用，所以说天然矿物原料是瓷器发展的基石。

天然矿物多数以硅、铝、钙、镁、钾、钠、铁等氧化物、碳酸盐以及其它盐的形式组合而成，陶瓷生产中使用它们来制作产品。中国传统瓷器最基本的原料有瓷石、粘土、长石、石英、石灰石、草木灰以及白云石等。从工艺性能分，可将原料分为塑性原料和瘠性原料两类。塑性原料是粘土和风化的瓷石，瘠性原料则是无塑性和无粘性的石英、长石、未风化的瓷石、滑石、方解石和白云石等。因此，了解原料的化学、矿物组成、配合使用及其性状和受热行为，对评价古代瓷器的质量和水平以及科学地总结古代制瓷工艺技术都有十分重要的意义，对恢复和仿制名窑失传的瓷器品种也有重要参考价值。

一、石英

石英族矿物的化学成分为SiO_2，是构成地壳的主要成分。它呈不同型态存在于自然界和矿物中，如结晶状态的水晶、隐晶态的玉髓、玛瑙和无定形的蛋白石。中国古代陶瓷的制作中，在北方最早使用玛瑙配制釉料。南宋人周辉在《清波杂志》中记述"汝窑宫中禁烧，内有玛瑙为釉……"。可见，早在宋代的汝瓷已使用玛瑙配釉，也许其它石英类原料的使用还会更早些。

水晶为石英晶体，产地不多，产量亦少，古代一般用作为雕刻的原料，不用来制作瓷器。用来作为瓷器的石英原料是石英岩或石英砂，只有少数瓷器是用玛瑙作为原料。据说，景德镇配制铜红釉时曾使用玛瑙作为引入SiO_2的原料，以提高釉的质量，实际上其化学成分仍为SiO_2，应该与石英岩的效果是相同的。

1．石英的性质

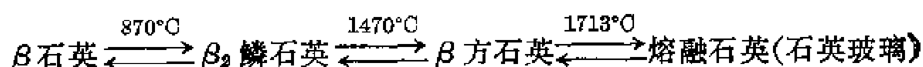
天然石英是乳白色、灰色和水红色的半透明固体，断面呈玻璃光泽，莫氏硬度为7，密度为2.653～2.654，熔融温度1713°C，溶于 HF 和 H_2PO_3，极缓慢地溶于水，溶解度随温度和压力的提高而增大。按石英的质量不同，常常夹杂或多或少的杂质矿物，如长石、云母、金红石或碳酸盐矿物，而带入 Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO、MgO、K_2O、Na_2O 和 TiO_2 等杂质成分。各地出产的几种典型的石英矿物和古代窑区附近所产几种石英族矿物的化学成分列于表2-1中。石英在我国古代传统的瓷器制造中用量并不大，南方的瓷石中已经含有石英，其含量甚高，不需要再人为地引入石英原料于胎、釉中；北方瓷器的瓷胎主要是高铝质的，大都在当地所产粘土中加入少量长石，或直接单用粘土即可烧成，也不需要过多加入石英。只是北方瓷器的釉中需要加入一定量的石英原料，有时某些名窑瓷器为了显示其名贵，使用玛瑙作为 SiO_2 成分的原料引入釉中。

表 2-1　几种典型的石英族矿物的化学成分

名称	产地或来源	化学成分 (m%)								
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	烧失
石英	湖州（浙江）	97.93	0.5	0.45	0.32			0.78		0.19
石英	曲阳（河北）	98.26	0.85	0.25	0.21			0.80		
石英	方城（河南）	99.95						0.05		
石英粉（石末）	景德镇（江西）	98.57	0.56	0.44	0.19	0.06	0.07	0.11		0.28
石英	星子（江西）	97.95	0.53	0.33	0.63	痕量	0.44	0.19		0.29
石英	凤县（陕西）	97.0	1.41							
石英	临潼（陕西）	98.91	0.13	0.12	0.22			0.06	0.52	0.16
石英	湘潭（湖南）	95.31	1.93	0.39	0.40			0.26		1.74
石英	铁门（河南）	98.94	0.41	痕量	痕量			0.19		
石英	泰安（山东）	99.48	0.35					0.10		0.03
石英	闻喜（山西）	98.05						0.10		

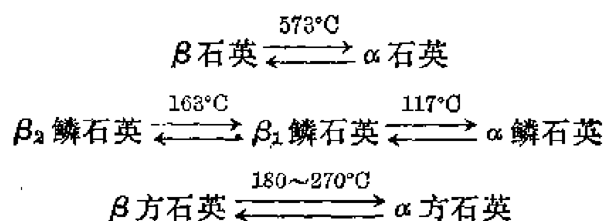
2．石英受热过程中的行为变化

石英有三种晶体形态，即石英、方石英和鳞石英。在这三种形态中又有复杂的相变关系。在受热过程中，自常温至熔融可以产生八种变体。按其转变速度的缓、速可分为两种类型，一种为迟缓型转变，另一种为迅速型转变。属于迟缓型转变的为：



$$\beta\text{石英} \underset{}{\overset{870^\circ C}{\rightleftharpoons}} \beta_2\text{鳞石英} \overset{1470^\circ C}{\rightleftharpoons} \beta\text{方石英} \overset{1713^\circ C}{\rightleftharpoons} \text{熔融石英(石英玻璃)}$$

石英、鳞石英和方石英的结构互不相同，转变时晶格进行重排，需要一定时间和能量，因此转变过程变化迟缓。这种转变通常由表面开始向内部逐渐进行，为了加速其转变速度，可以加入助溶剂和矿化剂。属于迅速型转变的为：



这些转变是三种晶体形态本身的 $\alpha \rightleftharpoons \beta$ 相间的变化，不影响到结构内 SiO_4 四面体的连接状态，只是四面体的变位和旋转，所以转变迅速，而且是可逆的。

天然石英都以 β 石英形态稳定存在，对于陶瓷制造来说，了解其高温变体的转化具有重要意义。

石英在受热过程中的晶型转变伴随着不同程度的体积变化。迟缓型转变过程中体积变化大，迅速型转变的体积变化小，如 870°C 转变中体积膨胀达 16%，但转变时体积变化进行极为缓慢，对陶瓷的生产影响并不大。低温下的迅速型转变的体积变化虽然小，但由于转化迅速，其危害反而大。在陶瓷中，石英常以部分熔融状态的方石英形态存在于胎、釉组织中。一般，古代陶瓷都在 1350°C 以下烧成，且绝大部分在 1300°C 以下烧成。β 石英转变为 β 方石英或 β_2 鳞石英时，实际上先经半安定方石英阶段再继续转化为鳞石英或方石英。石英在转变为半安定方石英的过程中，颗粒会发生开裂。如果有助熔剂侵入其中，则促使半安定方石英转变为鳞石英；若无助熔剂存在，则转变为方石英，而颗粒内部仍保持为半安定方石英。故一般陶瓷烧成后，瓷器组成中存在的是半安定方石英和少量其它晶型，在此转变中伴随很大体积变化，这对生产瓷器的影响很大。通常认为，半安定方石英在 1200~1250°C 范围内形成，处于稳定，冷却后可保持下来。

在实际生产中，可以利用石英的加热膨胀行为预先煅烧块状石英，然后急冷，借此来促进石英的粉碎。一般预烧温度在 1000°C 左右，总体积膨胀为 2~4%，这样的体积变化足以使硬块状石英碎裂。景德镇称粉碎的石英粉为"石末"，是用于低温色釉和彩料的主要原料。在瓷器的烧成和冷却时，应当注意晶型转变的温度，以避免在升温和冷却过程中发生制品的开裂。陶瓷生产中对石英原料的要求，主要是考虑着色的 Fe_2O_3 和 TiO_2 的含量和影响。一般传统白瓷中，Fe_2O_3 和 TiO_2 的含量都小于 1%；青瓷和其它色釉瓷器中，Fe_2O_3 和 TiO_2 的含量可高于 1%，甚至高于 2%。

二、长石

长石是北方瓷器中使用的主要助熔剂原料。长石在 1200°C 即开始熔融成为玻璃态质的熔体，这种熔体在高温下与高岭和石英反应，促使瓷胎在较低的温度下即可致密瓷化。长石在高温下形成熔体的粘度较大，如果瓷器的烧成温度适当，可使瓷器在烧成中不产生变形而增加其透明度和釉的光泽度，以改善瓷器的质量。长石在古瓷釉中的用量大于胎中的用量，在北方古瓷的生产和发展中起了重要的作用。

1. 长石的类型和性质

长石为含碱金属和碱土金属铝硅酸盐矿物的一族。天然长石矿物分布甚广，藏量丰富。占火成岩的 60%。它既可独立存在，亦可伴生在其它岩石矿物中。长石可分为四种基本类型，即：

钠长石（$NaAlSi_3O_8$ 或 $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$；折合成百分含量为 SiO_2 68.7%，Al_2O_3 19.5%，

N_2O11.3%）

钾长石（$KAl_2Si_3O_8$ 或 $K_2O\cdot Al_2O_3\cdot 6SiO_2$；折合成百分含量为 $SiO_2$64.7%，$Al_2O_3$18.4%，K_2O 16.9%）

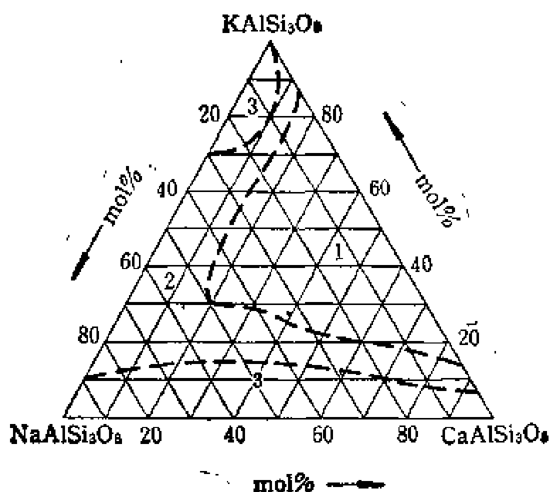


图 2-1 钾、钠、钙长石互溶范围

1—任何温度下不互溶晶体；2—高温下互溶，低温下不稳定晶体；3—低温下互溶稳定的晶体

钙长石（$CaAl_2Si_2O_8$ 或 $CaO\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2$，折合成百分含量为 $SiO_2$43.2%，Al_2O_3 36.7%，CaO 20.1%）

钡长石（$BaAl_2Si_2O_8$ 或 $BaO\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2$，折合成百分含量为 SiO_2 32.0%，$Al_2O_3$27.1%，BaO 40.9%）

钠、钾、钙长石三者可以在高温下互溶，由于此种互溶特性，天然长石多为几种长石的互熔体。图 2-1 所示为三种长石互溶的范围。在长石的互溶体中，以正长石和斜长石最为重要。

(1) 正长石　正长石包括钾钠长石 (K, Na)$AlSi_3O_8$ 和钾长石，属单斜晶系；钾微斜长石和钠微斜长石，属三斜晶系。以钾长石为主的为钾微斜长石，以钠长石为主的为钠微斜长石。外观呈肉红色或粉红色，也有呈灰白色和浅黄色者。硬度为 6～6.5，密度为 2.56～2.6，断面光亮，呈玻璃光泽，解理清楚，是北方制作陶瓷常用的原料。

(2) 斜长石　斜长石为钠长石和钙长石的互溶晶体。按其互溶范围有不同的名称：

钠长石，含 0～10% 的钙长石；
钠钙长石，含 10～30% 的钙长石；　〉酸性

中性长石，含 30～50% 的钙长石；
钙钠斜长石，含 50～70% 的钙长石；　〉中性

培斜长石，含 70～90% 的钙长石
钙斜长石，含 90～100% 的钙长石。　〉碱性

斜长石一般呈灰白或白色。硬度为 6，密度为 2.6～2.77。其中所含有害杂质为 Fe_2O_3，制作古瓷一般含量在 1% 以下为宜。我国所产的部分长石的成分列于表 2-2 中。

陶瓷原料用长石大都是正长石，古瓷制作中北方瓷区也是主要使用含钾高的正长石，有时使用一部分含钠高的长石或长石和石英组成的花岗岩矿物作为熔剂性原料。根据化学分析推断，古代北方的瓷器胎、釉中一般使用的量为：胎中最多使用 20%；釉中使用 20～30%，有些胎中不用长石。瓷胎中主要是利用长石在高温下产生高粘度的液相特性，借以使瓷胎充分烧结和具有透明度；长石在釉中可使釉具有光亮的玻璃质表面和产生各种艺术效果。

2. 长石受热过程的行为

长石是一种晶体状态的陶瓷用原料，它在高温熔化后变成不易结晶的高度粘稠的液相，冷却后形成稳定的玻璃态。在熔融时没有固定的熔点，只有一个渐渐熔化的温度范围。如将钾长石粉末制成坯体加热，粉体坯块随着温度的升高逐渐烧结，至 1000°C 左右开始急速收缩，1200°C 收缩达到最大，继续加热，长石坯块逐渐熔变，收缩保持恒定，坯块中封闭入的大量气泡渐渐向外逸散，逐渐玻化形成玻璃状物质，至 1320°C 开始熔化而流塌。钾长石的

表 2-2　各地产的长石的化学成分

名称	产地或来源	化学成分 (m%)									
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	烧失
曲阳长石	曲阳(河北)	65.25	19.11	0.25	0.22	9.16	4.35	0.50	—		0.81
灵头长石	灵头(河南)	77.30	13.43	0.02	0.04	0.80	6.53	0.06	—		0.51
召南长石	召南(河南)	67.61	18.23	0.29	0.02	10.51	3.67	0.39	0.27	0.01	0.57
营口长石	营口(辽宁)	64.34	19.47	1.37	3.30	11.70	—	0.87	—		—
忻县长石	忻县(山西)	65.66	18.38	—	—	13.37	2.64	0.17			0.33
望城长石	望城(湖南)	63.41	19.18	0.36	痕量	13.79	2.36	0.17			0.46
莱芜长石	莱芜(山东)	64.71	23.26	0.60	—	10.87	—	0.45			0.6
闻喜长石	闻喜(山西)	64.62	19.98	0.62	0.32	8.72	4.51	0.17	0.26		0.35

加热收缩曲线示于图 2-2。将钾长石加热至1400℃以上，经长时间熔炼澄清，即可熔成透明玻璃。瓷胎中，主要借助于长石受热后生成液相，与高岭和石英反应进行瓷化作用。

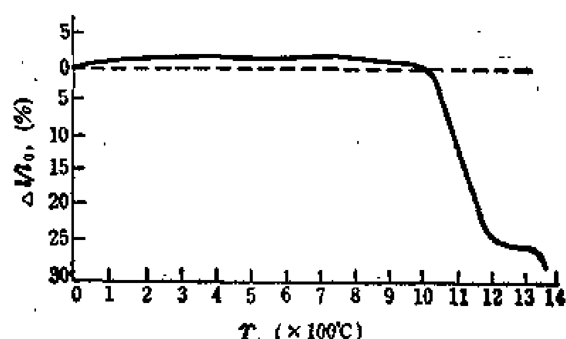


图 2-2　正长石粉料制成的坯体加热收缩曲线

图 2-2 所示曲线用的坯体的化学成分为：$SiO_2$69.5%，$Al_2O_3$16.45%，K_2O11.71%，Na_2O2.37%，MgO0.1%，CaO 痕量，Fe_2O_3 0.24%，$TiO_2$0.19%。钾长石受热后生成熔体的粘度大，随温度的变化率小，用于配制瓷胎，不易引起变形。该长石料常与含钙的木灰或方解石或石灰石配入釉中使用，受热后形成的钙质玻璃釉粘度小，易流釉，因此要制备厚釉瓷器一定要使用含钾量高的长石，方能得到良好效果。

在实际生产中，多数使用以钾为主要成分的长石，长石中的含铁量对各类瓷器有不同的要求，白瓷要求高，最好在0.5%左右；青瓷或其它色瓷要求低，在1%左右即可，要视粘土等其它原料所含杂质量的多少而定。根据传统的方法，所有原料都是先将原矿放入窑内试烧后，观察其色泽和熔化性状再决定其用途。

三、粘土

按地质成因粘土通常分为两种类型，即残留粘土和沉积粘土。残留粘土亦称原生粘土，是指那些没有经受自然力搬运的、与母岩残留在一起的粘土，我国的南方所产粘土主要属这一类型。沉积粘土又称次生粘土或二次粘土，是指经受过自然力的搬运而沉积下来的，由于搬运过程中混入杂质，因此往往含较高的铁、钛杂质，我国北方粘土大都属这种类型。

粘土的特征是与适量水结合可调成软泥，具有可塑性，将塑性成形的泥团烧后会变成具有一定强度的坚硬烧结体。正是由于这种特性使它与人类生活发生了联系，从久远的古代

人们就用它来制作陶瓷器,对人类的文化艺术和物质文明作出了贡献。

粘土矿物按化学成分是以 SiO_2、Al_2O_3 和 H_2O 为主组成的矿物。按照一般的分类,常把高岭石族、蒙脱石族、伊利石族和叶腊石族矿物均归属于粘土矿物。实际上,从化学成分看,伊利石族矿物属含 K_2O、Al_2O_3、SiO_2 和 H_2O 的水云母矿物。从中国传统制瓷原料的使用情况出发,中国南方往往以瓷石作为制瓷的主要原料,而瓷石中的主要矿物组成为绢云母。为了更加详细和突出地阐述瓷石在中国瓷器中的显著作用,将云母族矿物单独列出叙述。叶腊石等在传统瓷器中很少使用,故不一一作介绍。

1. 高岭土

高岭土中所含粘土矿物主要为高岭石。矿物学上,"高岭"一词是由江西浮梁县的高岭村地名而命名的,该地距景德镇约 45 km,出产明砂高岭。

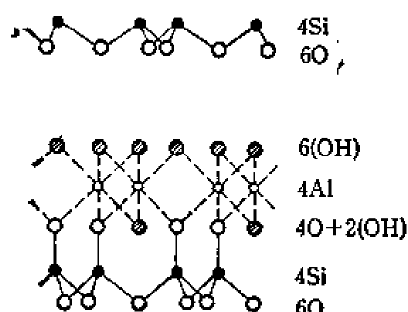


图 2-3 高岭石晶体结构截面图

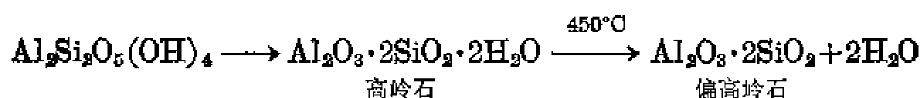
高岭石为高岭石族矿物的一种,另外该族矿物尚有多水高岭石、珍珠陶土和地开石。高岭石晶体呈六角形板片状,晶片常相互重叠呈虫状颗粒。多水高岭石多为管状晶体。珍珠陶土呈不太规整的板片状晶体,解理片呈楔形。地开石常呈短柱状晶体,解理后亦呈六角形板片状。中国传统瓷器所用高岭土原料多为含高岭石和多水高岭石矿物。实际上,高岭石族矿物的晶体结构基本上是相类似的,具有相同化学成分的高岭石、珍珠陶土和地开石之间只是晶格层的堆积和层间的重迭方式稍有差别而已。多水高岭石的结构类似于高岭石,只是晶层重迭方式不规则,晶层间吸附的水分子比高岭石多,形成沿 c 轴方向尺寸增大。

图 2-3 所示为高岭石晶体结构的截面图。晶胞沿 a、b 轴向延伸,沿 c 轴成层重迭。层间靠氢键结合在一起,氢键作用于铝氧氢层的 OH^- 离子和硅氧层的 O^{2+} 离子之间,层间不吸附水,碱基的交换能力很小。结晶程度差的高岭石中,Al^{3+} 离子可被 Fe^{3+}、Mg^{2+}、Ti^{4+} 等离子置换,造成电荷不平衡而吸附其它阳离子。多水高岭石可由于相连层间没有氢键而渗入水,形成水化多水高岭石。

2. 高岭土的性质和受热行为

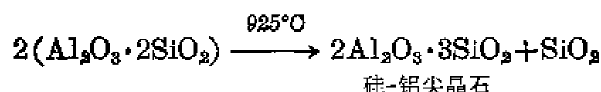
高岭石的理论组成为:$Al_2O_3$39.50%、$SiO_2$46.54%、H_2O13.96%。但一般高岭土中或多或少含有杂质矿物,因此高岭土中含高岭石粘土矿物的量往往因矿而异。品位高的含高岭石多,品位低的含杂质矿物多,含杂质多的高岭土须经淘洗去渣方能使用于制造瓷器。纯净高岭土外观呈白色或灰白色,含有杂质时常呈米黄、深灰和黑色。黑色是因为与煤矿伴生时吸附了不易分离出的有机物而被染色所致。原矿开出时呈块状,轻击易粉碎成粉末状,硬度很低,密度近 2.6,干燥后有吸水性。高岭土遇水结合成可塑泥团,其可塑性较低。煅烧后呈白色,白度很高,耐火度亦很高,在 1700℃ 以上。

高岭土受热后发生复杂的物理化学变化,从室温至高温发生脱水、分解、产生新晶相。了解高岭土的受热变化过程,对研究陶瓷在烧结过程中的行为和物相本质有参考价值。一般认为,高岭土受热变化有两个阶段,即结构水的脱水阶段和新结晶相的形成和转化阶段。在 100℃ 以上,排除吸附水,加热至 450℃ 以上,高岭石的结构水缓慢排出,在脱水过程中高岭石变成偏高岭石:



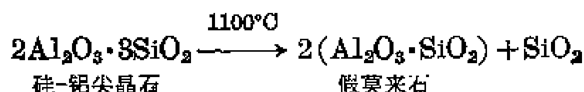
$$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \longrightarrow \underset{\text{高岭石}}{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} \xrightarrow{450^\circ C} \underset{\text{偏高岭石}}{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2} + 2H_2O$$

继续加热，偏高岭石进一步反应形成结晶化合物，这种化合物经精确测定是硅-铝尖晶石：



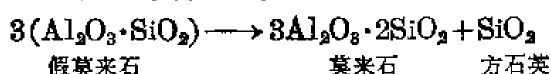
$$2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \xrightarrow{925^\circ C} \underset{\text{硅-铝尖晶石}}{2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2} + SiO_2$$

再受热至1100°C左右，硅-铝尖晶石逐渐失去晶格中之SiO_2，形成向莫来石过渡的中间产物——假莫来石：



$$\underset{\text{硅-铝尖晶石}}{2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2} \xrightarrow{1100^\circ C} \underset{\text{假莫来石}}{2(Al_2O_3 \cdot SiO_2)} + SiO_2$$

假莫来石继续受热，再失去SiO_2，转变成莫来石晶体：



$$\underset{\text{假莫来石}}{3(Al_2O_3 \cdot SiO_2)} \longrightarrow \underset{\text{莫来石}}{3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2} + \underset{\text{方石英}}{SiO_2}$$

释放出方石英的温度在1350°C以上。莫来石的晶体为针状或呈细柱状，理论化学组成为：Al_2O_3 71.8%、SiO_2 28.2%，密度为3.15，机械强度高，热稳定性和化学稳定性均好，熔点为1810°C。高温下，在瓷器中常产生一定量的莫来石晶体，其量的多寡视瓷胎的化学和矿物组成和烧成温度的高低而定。

其它高岭石族矿物，如多水高岭石、地开石和珍珠陶土，在1000°C以内的脱水阶段，生成新晶相以及1000°C以上出现尖晶石等的晶相转化阶段与高岭石的变化类似，也有不同之处，但对这些变化的机理还没有充分研究。图2-4为高岭石族矿物的差热分析示意曲线，以资区别和比较。高岭石在600°C附近有一个显著的吸热谷。多水高岭石除在100～200°C有吸热谷外，600°C的吸热谷与高岭石在本质上相同。地开石和珍珠陶土的吸热谷比高岭石约高100°C，这是由于它们的结晶完整程度高。高岭石族的四种矿物在980°C的放热峰十分相同，均与生成硅-铝尖晶石新晶相有关。

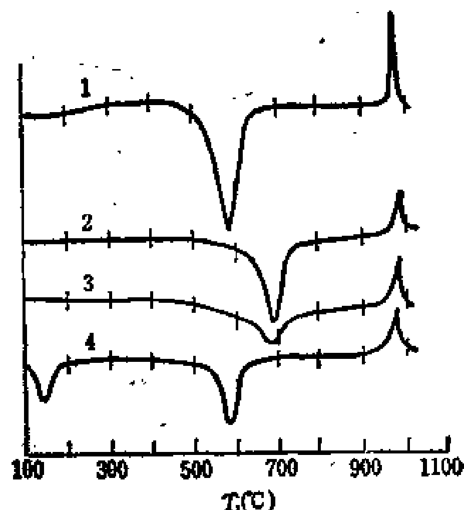


图2-4 高岭石族矿物的差热分析示意曲线[1]

3．南北方制瓷用高岭土实例

中国传统瓷器制作中，在南方使用高岭土以景德镇最早，开始于元代。景德镇附近出产高岭土的地方很多，出名的有明砂高岭土，产于浮梁县，还有星子、临川等地产的高岭土。这些高岭土都属原生高岭，原矿中含石英和云母杂质矿物很多，不能直接用来制作瓷器，必须经过淘洗方可使用。淘洗后制成的精泥重量不到原矿的一半，精泥中亦含有一定量的细云母颗粒。以明砂高岭为例可具体了解这类高岭土的性状。

明砂高岭[2]中所含云母矿物为含水白云母，外观为银白色的鳞片状，受热后变为灰黄色，加热至900°C变为深褐色。该云母的密度为2.77，耐火度为1450°C。其化学成分为：

SiO_2 45.51%，Al_2O_3 33.10%，Fe_2O_3 4.46%，K_2O 8.75%，Na_2O 0.61%，

MnO 0.19%，TiO_2 0.23%，CaO 0.43%，MgO 0.39%，烧失 6.36%。

该云母矿物的差热分析和失重曲线如图 2-5 所示。图中还列出了白云母的曲线以资比较。从曲线可见，400～600°C 有放出结晶水的吸热谷，一般白云母在该温度间无吸热效应，而在870～1000°C 间有一较小的吸热谷。

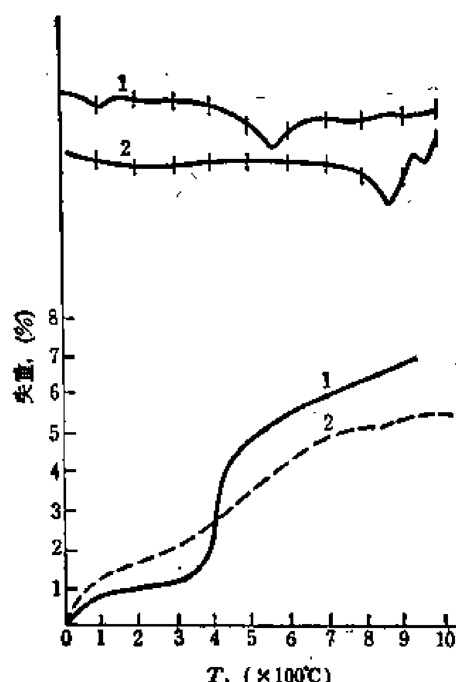


图 2-5 明砂高岭中之水白云母和一般的白云母的差热分析和加热失重曲线

明砂高岭土中 >1 μm 颗粒部分主要是含高岭石矿物，其中有一定量的水白云母、石英和长石颗粒，图 2-6 所示为 >1 μm 颗粒部分的偏光显微镜照相。明砂高岭不子*、精泥和小于 1 μm 颗粒部分的化学组成列于表 2-3 中，从细颗粒部分 Al_2O_3 量及烧失量增高和 K_2O 量降低可知，水白云母在粗颗粒中占的比例比细颗粒部分高。按化学分析结果估计，在细颗粒部分中约含高岭石 70～80%，多水高岭石 5～10%，水白云母 10～20%。从细颗粒部分的电子显微镜照相可见，明砂高岭中含有六角板片状的高岭石晶粒和不规则的半透明云母颗粒，如图 2-7 所示。明砂高岭土不子、精泥和 <1 μm 颗粒部分的差热分析和加热失重曲线示于图 2-8。曲线上表明，50°C 至 120°C 脱吸附水；450 °C 至 600°C 失去结构水；980°C 附近的放热峰为结构水破坏后生成硅铝尖晶石的反应。从不子、精泥和细颗粒部分的差热分析比较可见，600°C 的吸热谷和 980°C 的放热峰在三种情况下有明显差别。这是因为经淘洗后的明砂高岭中所含水白云母矿物的比量减少，而高岭石的含量逐渐增多的缘故。由化学分析结果计算，明砂高岭精泥，即制作瓷器直接使用的矿物组成为：高岭石为 65～70%、水白云母为 25～30%，其余为多水高岭和石英等矿物。

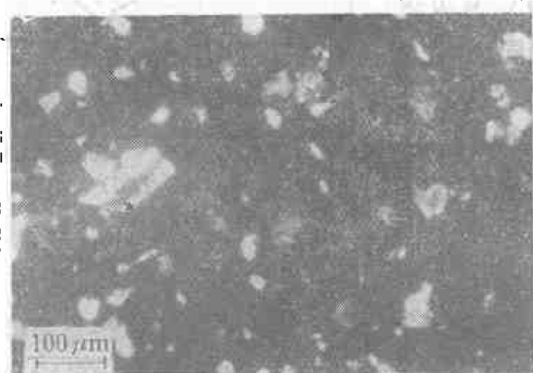


图 2-6 明砂高岭>1 μm 的颗粒的偏光显微镜照相 正交 ×100



图 2-7 明砂高岭土细颗粒部分的电子显微镜照相

明砂高岭精泥的耐火度为 1770°C。其加热收缩和气孔率变化曲线如图 2-9 所示。在 1000°C 以前胀缩比较平稳，由于结构水脱出，坯体的气孔率稍有增加。1000°C 以后，随着温度的升高体积急速收缩，气孔率逐渐降低，至 1500°C 线收缩达 16%，气孔率仍有 2% 以上。1000～1500°C 是坯体致密化的烧结过程。尽管到如此高温，但仍未达到完全致密化烧结，

* “不音敦上声，凡造瓷之泥土皆以此为名，盖景德镇人土音也”(唐英，《陶冶图编次》中之解说)。

表 2-3　明砂高岭精泥和小于 1 μm 颗粒部分的化学成分

名称	化学组成 (m%)										
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	烧失	总量
精泥	47.69	36.01	0.40	0.25	2.51	0.95	0.99	0.04	0.14	11.12	100.10
不子	49.65	33.82	0.33	0.23	2.70	1.03	1.13	0.05	0.33	10.84	100.11
<1μm 部分	45.58	37.22	0.40	0.07	1.70	0.45	0.86	—	0.16	13.39	99.89

这说明使用纯高岭是难以烧成致密瓷器的。

北方高岭土都属二次沉积高岭土，分布甚广，河南、河北、山西、陕西等省各瓷区附近都盛产高岭土。河南省的巩县在隋、唐已开始烧造白瓷，当地有丰富的粘土资源[3]。河南禹县神垕一带也产高岭土[4]，唐、宋、元时期，钧窑大量烧造驰名于世的钧瓷就在禹县附近。河北灵山靠近定窑瓷器烧造的窑址，据研究证明[5]，古代定窑白瓷极大可能是采用灵山砂石作为主要原料。在灵山一带也曾发现紫木节土，据推测有可能用于调节瓷胎配料的塑性而适量引入。紫木节土呈软质块状，而巩县高岭土、神垕高岭土和灵山砂石等都呈硬质块状。此外，大同砂石、陕西黑坩土也都是硬质高岭土，呈黑色是由于有大量碳质结合在其中。几种有代表性的北方高岭土的化学组成列于表 2-4。从化学组成可见，各地所产高岭土在成分上都很接近纯高岭石的理论成分，仅含有少量诸如钙、镁、碳酸盐、云母、长石和石英、水铝石以及碳质物质和腐植质等杂质矿物。由图 2-10 所示的差热分析和加热失重曲线可知，"砂石"和木节土中主要含高岭石矿物，其烧失大于高岭石的理论成分是由于碳质和腐植质引起的。

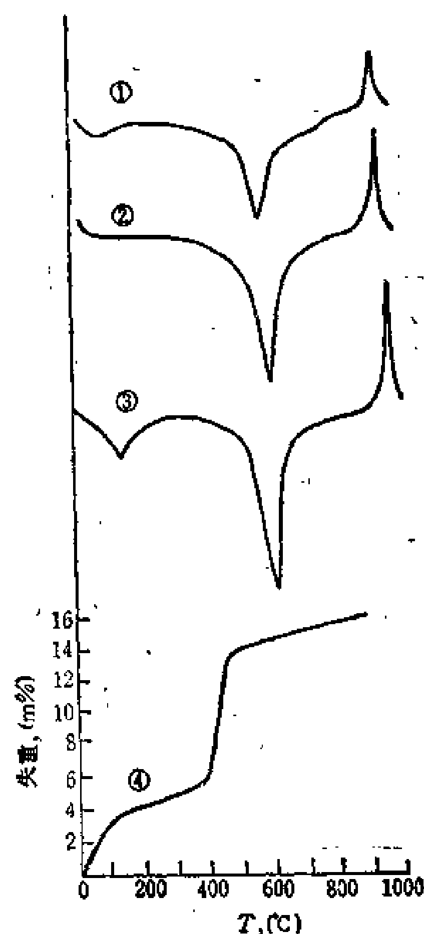


图 2-8　明砂高岭不子、精泥和<1 μm 部分的差热分析和加热失重曲线
1—不子；2—精泥；3—<1 μm 部分

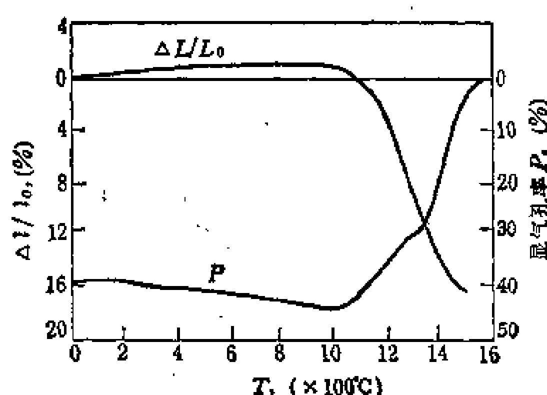


图 2-9　明砂高岭精泥线收缩与气孔率曲线

北方各瓷区除了藏有类似于上述的较纯的高岭土之外，更多地分布着含杂质矿物量较多的粘土，其中，大多数杂质矿物起着助熔剂的作用，有利于瓷胎的烧结。有少数含铁、钛杂质的粘土矿物则易使瓷胎着色，不利于白瓷的烧制，但对青瓷和其它有色瓷器并无多大妨

表 2-4 几种北方瓷区附近出产的代表性高岭土的化学成分

名称	化学成分 (m%)											
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5	烧失	总量
巩县高岭土	47.76	36.75	0.42	0.13	1.26	1.40	0.44	0.91	0.01	0.17	11.04	100.29
神垕高岭土	45.79	38.87	0.23	0.06	0.07	0.04	0.18	0.46	0.01 (NiO0.01)		14.34	100.06
灵山砂石*	47.61	37.04	0.12	0.32	0.26	0.37	0.21	0.56	<0.01		14.13	100.62
灵山紫木节土	44.90	33.50	1.68	0.84	0.20	0.40	0.59	1.69			16.78	100.58
大同砂石	43.94	38.78	0.14	0.51			0.17				15.90	99.44

* "砂石"系北方对硬质高岭土的称呼之一。

碍，因为有的瓷胎还要有意识地加入一些含铁量较高的粘土使其着成深灰或黑色，以增强胎色对釉的衬托，借以产生幽雅稳重的艺术效果。在北方，使用纯高岭土制胎时必须掺适量的长石或含熔剂杂质量多的粘土，以降低其烧成温度，否则就不能达到致密。表 2-5 列出了南、北方几个名窑瓷区附近所产的粘土的化学组成。部分粘土的差热分析和加热失重曲线示于图 2-11 中。其中，定窑区附近的白坩土含钛量很高，合石坡粘土和李楼粘土含铁量很高。这类粘土都只能用于制作青瓷、黑瓷之类的有色瓷器。

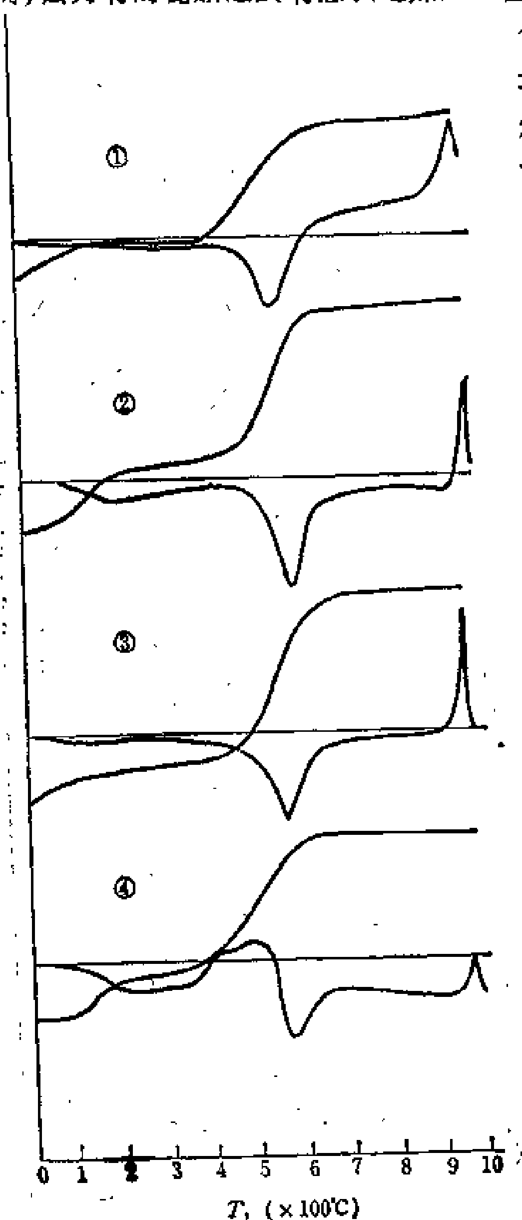


图 2-10 北方瓷区附近几种典型高岭土的差热分析和失重曲线

① 巩县高岭土；② 灵山砂石；③ 神垕高岭土；④ 灵山紫木节土

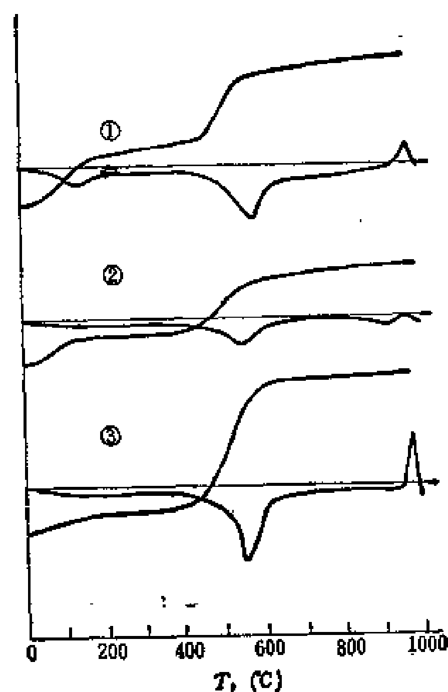


图 2-11 几种杂质矿物含量高的粘土的差热分析和加热失重曲线

① 泥池坩土；② 李楼粘土；③ 白坩土

表 2-5　南北方几个名窑瓷区附近所产粘土的化学组成

瓷区	名称	化学组成 (m%)										
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	烧失	总量
景德镇区(江西)	星子高岭	51.89	31.70	0.91	痕量	2.05		1.54	—	0.82	11.01	99.97
	临川高岭	46.57	36.29	1.03	0.27		1.57	0.17			14.64	100.54
定窑区(河北)	白坩土	44.82	35.96	0.10	0.12	0.26	0.04	0.53	3.49	<0.01	14.07	99.40
	庞家洼青土	66.71	22.31	0.57	0.33	1.40	0.33	0.44	1.03		7.31	100.43
汝钧窑区(河南)	严和店坩土	69.54	19.50	0.20	0.27	1.58	0.18	1.13	0.97	(P_2O_5 0.07)	6.90	
	塬川坩土	56.05	28.43	0.60	0.18	0.38	0.10	0.33	1.06	(P_2O_5 0.027)	12.75	
	风穴坩土	53.38	32.22	0.09	0.19	1.28	0.09	0.33	0.70	(P_2O_5 0.027)	11.50	
	合石坡粘土	60.06	25.91	0.13	0.36	1.99	0.09	2.33	1.30	0.01	8.50	101.26
	李楼粘土	61.17	20.92	0.67	0.44	1.63	0.32	5.67	1.07	0.06	8.31	101.26
耀州窑区(陕西)	泥池坩土	62.35	24.73	0.27	0.45	2.10	0.10	1.08	0.93	0.01	8.7	100.72
	东山坩土	46.50	38.10	0.54	0.31	0.025	0.076	0.1	0.62		13.69	99.96

习惯上，将高岭土或含杂质量多的粘土统称为“瓷土”，有时连瓷石原料也称为“瓷土”。这种名称主要是按用途在各瓷区的一种传统习惯叫法，即将制作瓷器的原料统称为瓷土，将制作陶器的原料统称为陶土。陶瓷界和考古界也常沿用这类名称，但有时会造成讨论问题中概念上的混乱，这里避免了这种叫法。

四、瓷石

瓷石为含石英和绢云母为主体的矿物，呈石块状，如图 2-12 所示。其中，绢云母有和高岭土一样的塑性，又有长石一样的熔剂作用，兼有高岭土和长石在瓷器中所起的作用，加之瓷石中还有大量石英，因此单纯用瓷石作原料，经过成形和烧成即可以成瓷。自东汉以来，浙江的越窑系地区就将瓷石当作制瓷用原料使用，实际上，南方各省，如浙江、江西、福建、江苏和安徽等省的历代各窑都是以瓷石为主要原料制作瓷器的。瓷石是由长英岩或石英粗面岩等岩石矿物受热液作用生成的，其中的硅酸盐矿物，特别是长石经蚀变后绢云母化而生成绢云母，如果绢云母化不充分，瓷石中还会有残留的长石等矿物。风化程度深的瓷石，绢云母经受长期地质作用还伴随着发生高岭化，一部分绢云母转变为高岭石族矿物，因此风化厉害的瓷石往往含有一定量的高岭石，它们受风化后的转变可以示意地表示为：

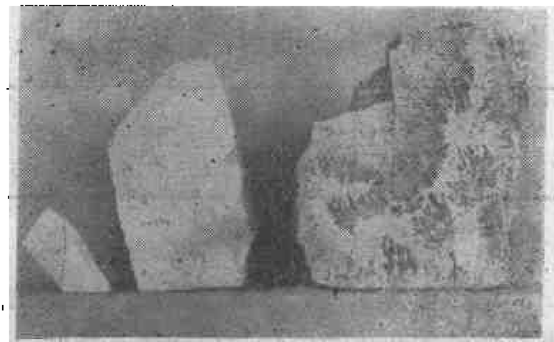
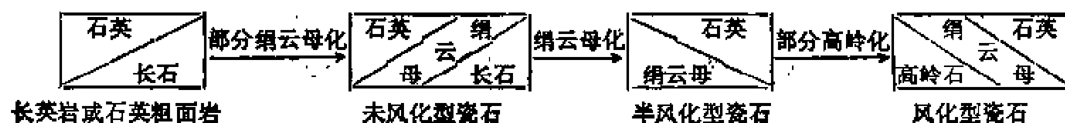


图 2-12　祁门瓷石的外貌



一般，风化程度高的瓷石用来制胎，风化程度差的用于配制釉，用于制釉的又称为釉石，釉石粉碎后制成的不子原料在景德镇又叫“釉果”。各地区的瓷石在成分上相差不远，但仍有一些区别，如福建德化窑区附近所产瓷石含 K_2O 量较高，含 Fe_2O_3 量特别低；浙江地区所产瓷石含 Fe_2O_3 较高，由于 Fe^{3+} 离子主要存在于绢云母晶格中，用淘洗的方法很难去除，有时淘洗反而会提高 Fe_2O_3 的含量。江西和安徽地区的瓷石所含杂质的量介于福建和浙江瓷石之间。表 2-6 列出了南方各瓷区附近所产瓷石原料的化学组成。

表 2-6　南方各瓷区所产几种主要瓷石的化学成分

名　称	化　学　组　成　(m%)												备注
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	烧失		总量	
安徽祁门瓷石（不子）	73.05	15.61	1.82	0.34	3.75	0.58	0.56	0.09	0.02	3.87		99.69	[2]
（精泥）	69.93	17.65	2.11	0.40	4.61	0.54	0.66	0.07	0.01	4.31		100.29	
江西南港瓷石	74.26	16.93	0.87	0.36	3.15	0.30	0.62	0.09	—	3.68			[6]
江西三宝蓬瓷石	73.70	15.34	0.70	0.16	4.13	3.79	0.70	—	0.04	1.13		99.69	
江西青树下釉果	74.85	14.66	1.52	0.21	3.11	2.39	1.30	—	0.14	2.28		100.46	
江西屋柱槽釉果	74.43	14.64	1.97	0.16	2.90	2.38	0.62	0.06	0.02	2.85		100.03	[2]
浙江坞头瓷石	71.82	17.41	—	0.22	3.87	0.28	1.21	—	0.08	4.66		99.55	[7]
浙江毛家山瓷石（已风化）	71.82	18.31	—	0.20	4.18	0.21	0.58	—	0.05	4.34		99.69	
（未风化）	76.60	15.33	0.14	0.66	4.39	0.20	0.54	痕量	0.07	2.16		100.44	
浙江源底瓷石	76.11	14.90	0.60	0.03	1.85	0.70	1.05	痕量	0.04	4.65		99.85	
浙江大窑瓷石	71.66	17.96	0.01	0.22	2.13	0.16	1.45	—	0.02	6.06		99.64	
浙江岭根瓷石	74.95	16.21	—	0.16	3.04	0.25	0.31	—	0.03	4.69		100.47	
（淘洗后）	71.64	18.98	0.26	0.15	3.24	0.28	0.51	0.10	0.03	5.53		100.72	
浙江上窦瓷石	79.28	12.71	0.02	0.07	4.36	0.80	0.57	—	0.06	2.70		100.62	[8]
龙泉窑址发掘，元代用瓷石	75.91	13.92	0.19	0.21	3.20	0.19	1.58	0.39	0.04	5.01	P_2O_5 0.03	100.67	[9]
明代用瓷石	81.57	12.29	0.07	0.08	1.12	0.05	0.67	—	0.04	4.87	P_2O_5 0.02	100.78	
福建德化四班瓷石	75.91	15.30	0.04	0.05	2.51	0.05	0.62	0.10	0.06	4.85		99.49	[10]
福建褒美瓷石	78.61	12.95	0.07	0.07	5.89	0.16	0.31	0.09	0.07	2.30		100.52	

1. 绢云母

绢云母为水白云母的细颗粒，呈微细鳞片状，悬浮在水中，于阳光下呈现绢丝光泽故名。其晶体结构和化学成分与白云母甚相似，只是含水高于白云母，含 K^+ 低于白云母，部分 K^+ 被水置换。白云母的化学式为：$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$（或写为 $K_2O\cdot3Al_2O_3\cdot6SiO_2\cdot2H_2O$），理论组成为：$SiO_2$ 45.2%，Al_2O_3 38.5%，K_2O 11.8%，H_2O 4.5%。水白云母的化学式为：$K_{1-x}(H_3O)_xAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2\cdot nH_2O$。实际上，自然界的水白云母晶格中有许多被阳离子置换，如 Na^+、Mg^{2+}、Fe^{2+}、Fe^{3+}…等。白云母并非属粘土矿物，绢云母则有些水化性质，有时被列入粘土矿物之中，但其高温下的性质类同长石，有熔剂作用，这与高岭土的高温作用大不相同。

图 2-13 为白云母晶体结构的截面图。这种结构是由二层 SiO_4 四面体与夹在中间的 $Al(OH)_3$ 八面体层构成三层结构的晶胞，SiO_4 层中的 Si^{4+} 有 1/4 被 Al^{3+} 置换，晶胞层间有

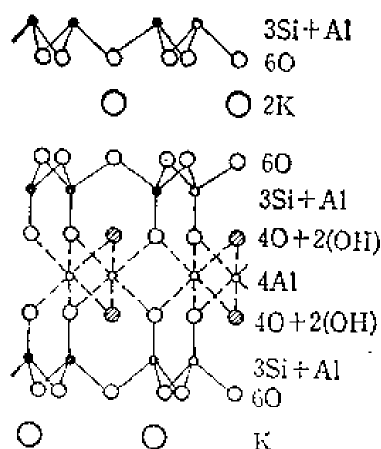


图 2-13　白云母晶体结构截面图

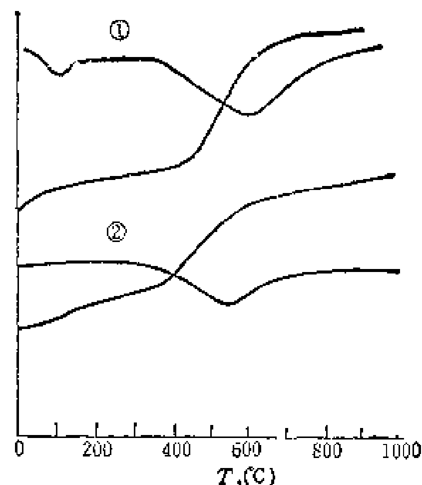


图 2-14　祁门瓷石和褒美瓷石中绢云母的差热分析和加热失重曲线

1—祁门瓷石中绢云母；2—褒美瓷石中绢云母

K^+ 离子，K^+ 离子由于 Al^{3+} 离子置换了 Si^{4+} 离子之后，借剩余键被吸附在四面体氧层之间。水白云母或绢云母中 Si^{4+} 被 Al^{3+} 置换的量比白云母少，因此晶层间 K^+ 的量也较白云母少。绢云母中含水量高主要是因为八面体的负离子 O^{2-} 被 OH^- 离子置换所致。

从祁门瓷石中分选出的绢云母与明砂高岭中分选出的大颗粒水白云母的性质很相近，只是颗粒细度在 1 μm 以下。从德化附近的褒美瓷石中分选出的细颗粒部分也有类似于绢云母的成分。它们的化学组成列于表 2-7 中。原矿中祁门瓷石的含钾量为 K_2O 3.75%，褒美瓷石为 5.89%。经淘洗后的细颗粒部分分别增高到 8.11% 和 8.32%。可见细颗粒部分绢云母的含量大为增加，其烧失量，即 H_2O 含量都比一般白云母高。图 2-14 示出了两种瓷石中所含绢云母的差热分析和加热失重曲线。曲线上，在 120℃ 左右有吸热谷，为吸附水的释放。400～600℃ 有一个较大的吸热谷，为结构水的释放，不象白云母要在 800℃ 附近才有此吸热效应。

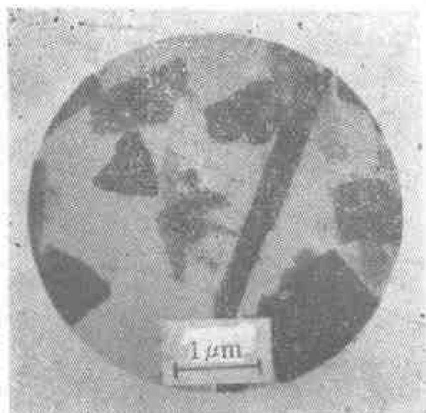
表 2-7　祁门瓷石和褒美瓷石细颗粒部分的化学成分

名称	化　学　组　成　(w%)										
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	烧失	总量
祁门瓷石 <1 μm 部分	50.24	29.87	2.52	0.92	8.11	0.68	1.03	0.01	—	6.96	100.34
褒美瓷石 <1 μm 部分	60.64	24.57	0.05	0.19	8.32	0.21	0.76	0.19	0.18	5.11	100.22

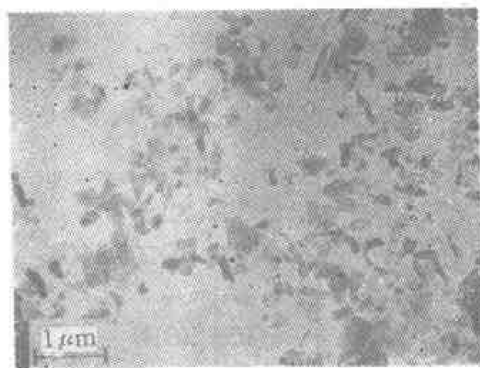
绢云母颗粒在电子显微镜下观察呈半透明的片状，有时可以看到晶体所具有的层状解理。图 2-15 为祁门瓷石和褒美瓷石中的绢云母的电子显微镜照相。

2．瓷石的受热行为

瓷石受热后的特征主要取决于风化程度和状态，即取决于风化后所留存的矿物的类型和数量。如果瓷石主要含有石英和绢云母矿物，如比较典型的祁门瓷石，受热后的变化比较简单。在 400～700℃ 之间瓷石的失重主要决定于其中所含绢云母的失水。在 600℃ 以上，绢云母沿 c 轴膨胀，收缩曲线上显示出一定的线膨胀。当加热到 1050℃ 以上时，由于绢云



祁门瓷石中绢云母



褒美瓷石中绢云母

图 2-15 祁门瓷石和褒美瓷石中绢云母的电子显微镜照相

母开始熔融玻化，瓷石样品迅速收缩，随着温度的升高，逐渐增强致密化，气孔率也成比例地逐渐减少，至1250°C左右，即开始转向过烧膨胀，因为被封闭在烧结试样中的小气泡开始胀大，致密程度又开始下降，因此瓷石的受热变化过程主要取决于绢云母的受热变化和与石英的作用过程。图2-16示出了祁门瓷石经淘洗后的精泥受热的收缩变化和气孔率变化曲线。在1250°C，样品收缩达到最大，而气孔率达到最低，即达到了最致密的瓷化状态。可见，瓷石中绢云母的受热行为类似于长石的受热变化，两者有相近的熔剂效果。

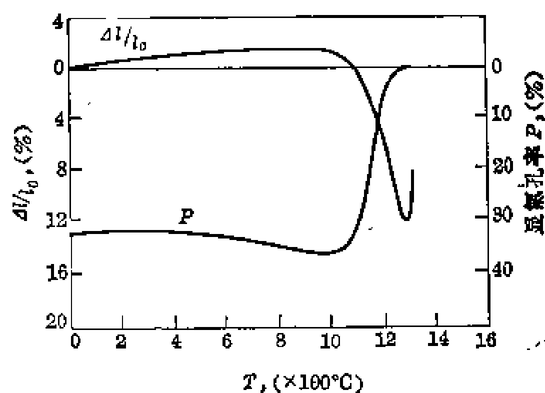


图 2-16 祁门瓷石精泥受热收缩和气孔率变化曲线

如果瓷石中绢云母发生了部分高岭化，则瓷石中多含有高岭石族矿物，这时在差热分析曲线上和加热收缩曲线上就会出现高岭石族矿物的特征。600°C左右的吸热谷与绢云母吸热效应混在一起，900～1000°C的放热峰则独具特征性。如果有方解石，遇热后会分解放出CO_2，相应产生吸热效应，但量很少，不是主要的。各地区部分瓷石中均有类似上述的情况，有些瓷石在化学成分上含有一定量的K_2O，而在差热曲线上又出现900～1000°C间的放热峰，显然表现出了既含有绢云母又含有部分高岭石的特征。这类瓷石可说是自然赋予的石英-高岭-绢云母三元矿物组成的制瓷用理想原料。在古代，浙江、福建以及江西地区可以用一种瓷石原矿制作瓷器就是这个缘故，这一点为瓷器首先在中国创造发明在客观上提供了有利条件。

3．瓷石的性状、加工和使用

风化程度浅的瓷石为硬块状，呈浅灰绿色．风化程度深的瓷石为结合较松的块状。原矿中除石英和绢云母为基质的矿物外，某些矿原中尚含有一定量的长石或高岭石矿物以及少量方解石、金红石和铁矿杂质。图2-17为祁门瓷石和坞头瓷石原矿的偏光显微镜照相。祁门瓷石中的方解石矿脉非常明显地侵入在石英、绢云母交混的基质中。坞头瓷石中含有大量辐射纤维状球粒结构的石英，亦有少量呈束状的云母和不透明的黑色含铁矿物。

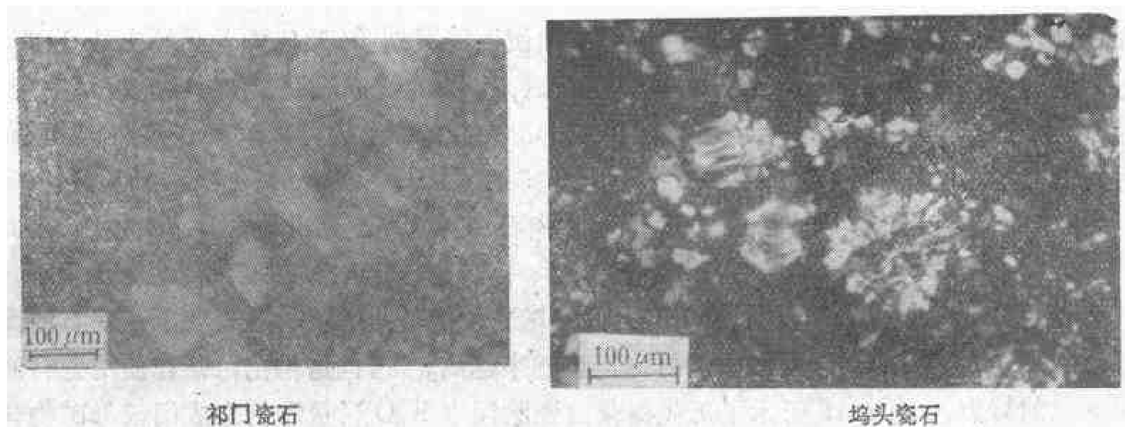


图 2-17　祁门瓷石和坞头瓷石的偏光显微镜照相

在古代，采用水碓的方法将瓷石撞碎成粉料，这种粉碎工艺至今还使用，它是一种利用水力能源的经济粉碎方法。瓷石经过冲碎之后，各类矿物成分分离和细化，但总有部分粗颗粒存在。要去除粗颗粒部分和杂质矿物，必须经过淘洗以提高其使用质量。从历代青瓷和瓷石的化学分析对比及瓷器断面质地判断，五代以前对瓷石原料的淘洗处理是比较粗简的，宋代以后开始使用精淘的方法。据考古发现，浙江大窑地区宋代已使用较大的淘泥池、沉淀池来精制瓷泥原料。一般瓷石粉料经淘洗后，金红石和铁矿杂质很容易被除去，一部分粗颗粒石英也会被淘洗分出。淘洗次数越多，控制越精细，制出的精泥的 SiO_2/Al_2O_3 的比越低，K_2O含量越高。由于所含绢云母的比例或高岭石的含量增加，因此淘洗的程度直接影响瓷石原料的成形性能和烧成后瓷胎的致密程度。

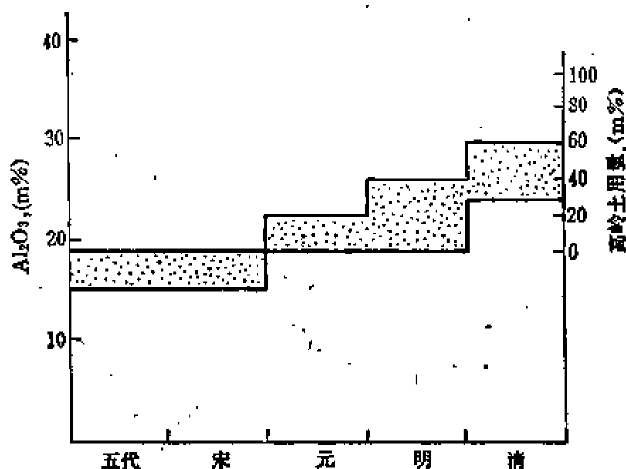


图 2-18　历代景德镇瓷胎中 Al_2O_3 的含量与掺用高岭土的用量变化

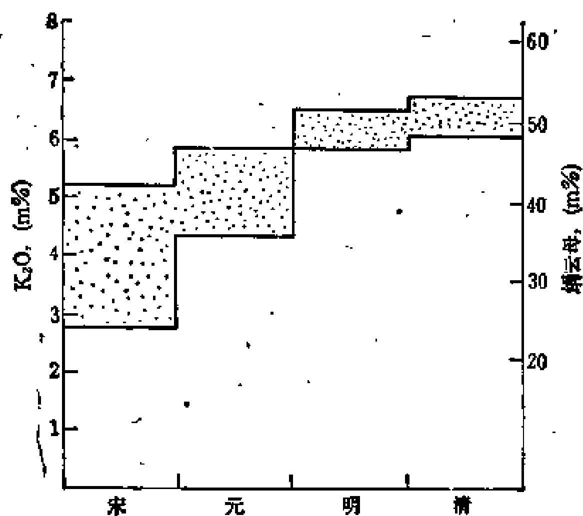


图 2-19　德化白瓷胎泥中 K_2O 含量和折合绢云母的估量

南方各瓷区主要以瓷石作为主要原料烧制瓷器，这与瓷石矿原分布较广有密切关系。瓷石制胎可以使用一种原料，也可以几种不同矿原瓷石配合使用。瓷石制釉则必须配以草木灰、釉灰以形成含一定量 CaO 质熔剂的玻璃釉。从成分分析推断，景德镇地区元代才开始使用高岭土掺入瓷石制胎的方法，随着制瓷技术的发展，掺入的量逐渐增多，一般掺用量可达 40%，个别种类瓷胎可掺用到 60%。根据推算，历代景德镇瓷胎中

掺用高岭土的量如图 2-18 所示。宋代以前单独使用瓷石制胎，元代掺入高岭土达 20%，明代掺入量达 40%，清代为 30～60%。单用瓷石时，瓷器的烧成温度低，烧成温度范围较窄，如果熔剂成分为 Na_2O、CaO，则瓷器很容易变形，掺用高岭土后可以改善这些性能，从而扩大品种，改进瓷质。

历代德化白瓷都使用瓷石原料制作瓷器，瓷石中所含熔剂氧化物以 K_2O 为主，因此瓷胎中即使 K_2O 的含量高也不易引起瓷胎的变形，因钾质玻璃高温粘度大，粘度变化小。从历代德化白瓷的化学分析可知，胎中 K_2O 含量随着年代逐步提高，这表明所用瓷石的淘洗程度越来越高，泥料中绢云母细颗粒的比例也越来越高。这也是德化白瓷在使用瓷石原料和瓷质上的特点。图 2-19 所示了历代德化白瓷胎泥中 K_2O 含量和折合成绢云母矿物含量的关系(绢云母中 K_2O 含量按 $K_2O·3Al_2O_3·6SiO_2·2H_2O$ 计算)。明、清代的德化白瓷胎泥中绢云母矿物的含量在70% 左右，可见德化白瓷透明度特别高与所含绢云母矿物的量十分高有密切关系。德化白瓷是最典型的绢云母质瓷器。实际上，瓷胎中绢云母含量比计算量还多，因瓷石中绢云母为含水绢云母。且有其它杂质氧化物。

五、其它原料

除上述几类主要制瓷原料之外，还有一些配制釉用的熔剂性原料，如属石灰岩的石灰石、方解石和白云石，植物灰或动物骨灰等。这些原料对制作中国传统名瓷也是很重要的。

1. 草木灰、石灰石和釉灰

中国最早的高温釉为高钙质釉，含 CaO 量约为 20%，后来逐渐减少了含 CaO 原料的用量，增加了瓷石的用量。CaO 的原料来源最早是草木灰，一般草木灰中含大量 CaO，有的高达 40%。用草木灰制成的釉料料浆颗粒较粗，施釉性能和粘附性都差。宋代以后，已大量采用以草木枝叶烧炼石灰石制取釉灰的方法制备釉浆，既改善了釉浆的细度和粘附性，又保证了成分上的一致性。釉灰有两种，一种称头灰，即将炼烧好的混合料经粉细、过筛和淘洗而成；另一种称为二灰，即先将混合炼烧料用人溲浸渍陈腐 1～2 个月，再经练制。景德镇炼

表 2-8 草木灰和釉灰的化学成分

窑区	名称		化学组成 (m%)												备注
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	烧失	总量	
景德镇	狼鸡草灰		55.02	19.32	8.59	7.44	4.81	0.56	1.67	0.30	0.92	1.36		99.99	
景德镇	杉树枝叶灰		30.83	6.98	34.73	6.34	11.54	0.25	2.73			4.05		100.00	
景德镇	松树枝叶灰		57.08	14.75	8.04	2.30	5.32	0.39	6.12		1.67	2.22		97.89	
景德镇	松树灰		24.35	9.71	39.73	4.45	8.98	3.77	3.41		2.73	2.74		99.92	
河南	汝窑木灰	原灰	20.78	4.13	34.12	2.98	3.93	0.32	1.35	0.33	1.94	0.25	29.93	10[illegible].07	NiO0.01%
河南	汝窑木灰	除烧失	29.63	5.9	48.64	4.25	5.60	0.46	1.93	0.45	2.77	0.37		100.00	NiO0.01%
河南	钧窑木灰	原灰	14.58	3.27	39.86	3.52	1.88	0.41	0.79	0.28	2.28	0.13	32.78	99.84	CuO0.02% NiO0.01%
河南	钧窑木灰	除烧失	21.74	4.88	59.44	5.25	2.80	0.65	1.13	0.42	3.40	0.19		100.00	CuO0.03% NiO0.01%
景德镇	釉灰	头灰	3.25	0.56	55.32	1.13	0.22	0.15	0.79	—		—	38.51	99.93	

烧釉灰的方法是用石灰石和凤尾草或狼鸡草(一种蕨类植物)迭叠烧炼数次，经陈腐而成。北方采用的木灰是将烧好的灰粉碾细使用。常用的草木灰和釉灰的化学成分列于表 2-8。

含 P_2O_5 高的草木灰，用于高硅质釉中，如河南钧窑釉，会引起釉的分相而产生乳光效果，形成釉的特殊装饰和质感。草木灰中都含有一定量的 MgO，全部使用草木灰配制釉时，釉中所含 MgO 的量要比用釉灰配制的釉的含量高。历代南方各窑区使用瓷石和草木灰或釉灰配制瓷釉的用量示于图 2-20。图中包括浙江、景德镇和德化三个瓷区的青、白瓷釉的 CaO、SiO_2 含量，CaO 含量折合成相应的草木灰或釉灰的用量亦示于图中，釉中 SiO_2 含量与所用釉石(瓷石)的用量有直接关系，图中亦示出了历代瓷釉所用瓷石的用量变化。三个瓷区的瓷釉组成变化显示出共同特征，随着时代的变化，釉灰(或草木灰)的用量越来越减少，瓷石(釉石)的用量越来越高，高钙质釉逐渐变成为碱钙质釉。高钙质釉常称为“石灰釉”，严格讲，釉中引入的 CaO 并非全以石灰石作为原料，中国传统的方法还是使用草木灰或釉灰作为制釉原料，因此称它“灰釉”更为确切。碱钙质釉则是低灰釉、因釉石用量增多后，(K_2O + CaO) 含量相对增高，故称“碱灰釉”更妥当。

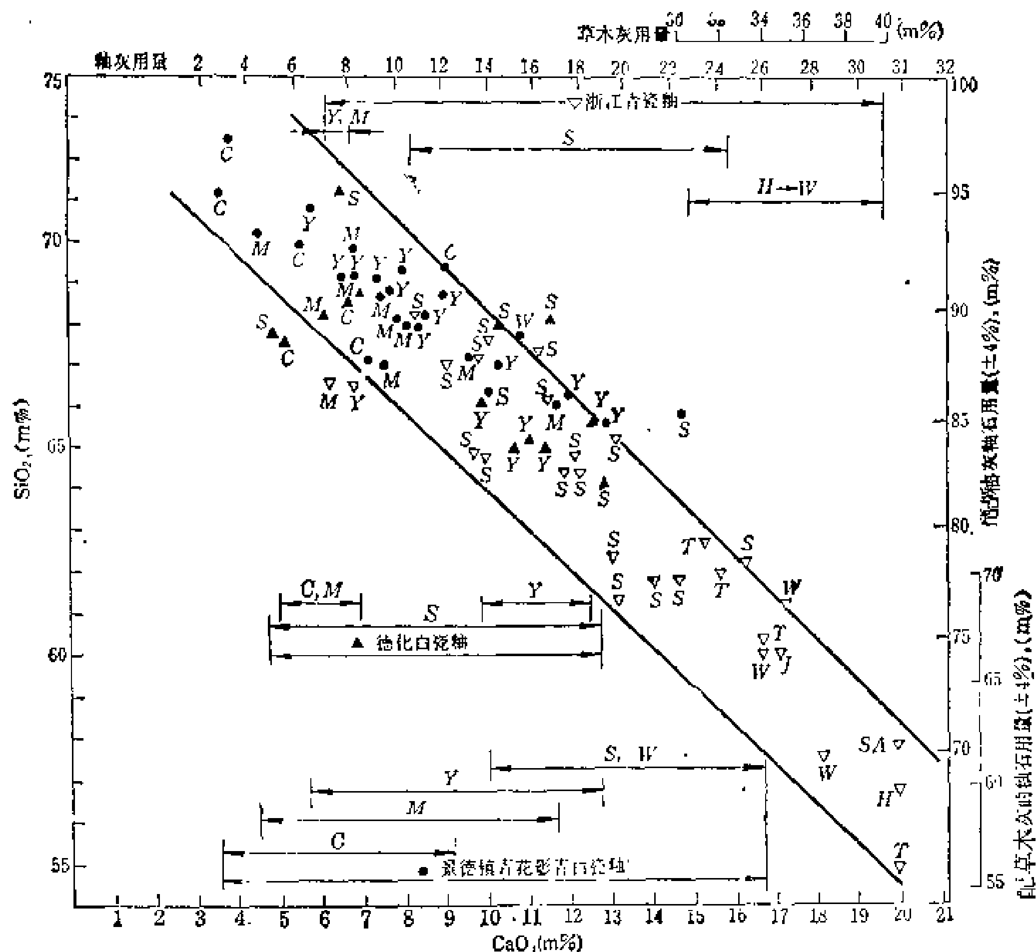


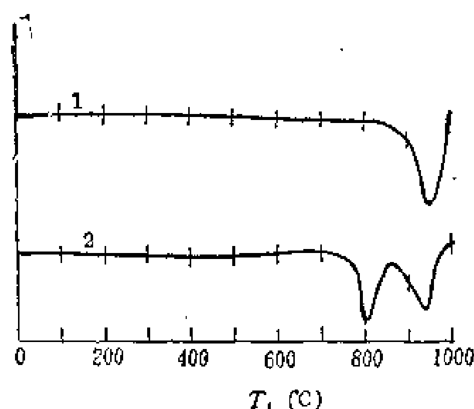
图 2-20 历代南方瓷釉中草木灰和釉灰及瓷石用量变化

H—汉；SA—三国；J—晋；T—唐；W—五代；S—宋；Y—元；M—明；C—清。

2. *方解石和白云石*

方解石和白云石都属于碱土金属碳酸盐矿物。方解石为沉积石灰岩与变质石灰岩中的主要矿物；白云石为沉积白云岩与变质白云岩中的主要矿物。

方解石的主要化学成分为 $CaCO_3$，其理论成分为：CaO56.0%，$CO_2$44.0%。天然矿物常含有 Mg、Fe、Mn 等碳酸盐，具有清晰的菱形解理，多呈灰、褐等色，硬度为 3，密度 2.6～2.7。



1．方解石；2．白云石

图 2-21　典型方解石和白云石的差热分析曲线[1]

白云石的主要化学成分为 $CaCO_3 \cdot MgCO_3$，其理论成分为：CaO 30.4%，MgO 21.7%，CO_2 47.9%，有时含铁、钛等杂质。晶体和方解石一样呈菱面体，解理为菱形解理。一般为灰白色，有时由于杂质的染色而呈淡黄褐色，硬度为 3.5～4，密度为 2.8～2.9。

方解石和白云石均作为陶瓷生产中配入胎、釉的助熔剂原料使用。在北方常配入釉中作为引入 CaO 或 CaO·MgO 的原料，如临汝窑、钧窑和耀州窑中均引入方解石于青釉中；定窑引入白云石于白釉和胎中。白云石易促进石英的转化和生成莫来石，定窑胎中生成大量莫来石就是由于胎中含有少量白云石的关系。景德镇常将方解石和白云石用于色釉中。典型的方解石和白云石的差热分析曲线示于图 2-21。方解石在 970℃ 附近有一个吸热谷，白云石在 800℃ 和 950℃ 附近有两个吸热效应，前者为 $MgCO_3$ 分解，后者为 $CaCO_3$ 分解，有时两个吸热谷前后相连，一个尚未完结，一个即已开始。

有一些方解石和白云石料为含杂质矿物较多的隐晶灰岩或白云岩，常呈隐晶集合体存在，杂质矿物主要为石英及少量长石、云母、铁矿和金红石等。陕西陈炉出产的料姜石就是一种以方解石为主的砂质隐晶灰岩。表 2-9 列出了北方瓷区几种方解石和白云石的化学分析组成。

表 2-9　北方几种方解石和白云石的化学分析组成

名称	化学组成（m%）									
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	烧失	总量
临汝方解石（河南）			55.95	0.45			0.006		43.66	100.07
灵宝方解石（河南）			55.09	0.57	0.004	0.02	0.01	0.005	43.98	99.68
陈炉料姜石（陕西）	16.65	4.07	41.64	1.45	0.83	0.48	1.38	0.24	33.68	100.42
阜平白云石（河北）	0.25	0.23	29.52	22.95	—	—	微量	微量	46.34	99.29
易县白云石（河北）	17.35	4.36	24.96	17.62	—	—	0.42	0.12	34.79	99.59

3．滑石和骨灰

滑石为硅酸镁矿物原料的一种，其化学式为 $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ 或 $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$，呈细晶致密硬块状，富有滑腻感。为白色，有时为灰白或浅绿色。硬度 1～1.5，密度 2.7～2.8。理论组成为：MgO 31.7%，SiO_2 63.5%，H_2O 4.8%，有时含有少量 Al_2O_3、Fe_2O_3 和 CaO 等杂质。我国东北海城和山东掖县均产大量滑石，质量很高。传统的古代中国瓷器中

是否用滑石尚待研究，近代仿制古代瓷器者有时在釉中引入少量滑石，以改善釉质，提高透明度和白度。

骨灰为动物骨骼煅烧后制成之灰，其主要成分为磷酸钙、碳酸钙和其它杂质如 SiO_2、Fe_2O_3 等。骨灰的主要成分为 $Ca_3(PO_4)_2$，其理论组成为 CaO 54.1%，P_2O_5 45.9%。据窑址发掘发现，古窑址有动物骨存在，说明古代某些瓷釉使用少量骨灰作为制釉时掺用的原料。

4．含铁矿物和粘土

中国古代瓷器制作中常使用含铁量较高的矿物和粘土作为着色原料，这类原料在新石器时代的彩陶制作中已开始用作为彩料，后来在瓷器制作中使用非常广泛。有一种含铁质高的粘土，各地常称它为“紫金土”，含铁量在3% 以上，高者大于10%。一般用来作为青釉或褐釉的着色原料，如配制豆青、粉青和各种酱色釉等；有时用来作为瓷胎的着色原料，如官窑青瓷的黑胎就是掺用这类原料。另一种是含铁量高的粘土，其中尚含有一定量的 MnO_2，这种原料引入釉中常使釉着为黑色，故一般瓷区称它为“乌金土”。另外尚有一些含铁量高的矿石，如褐铁矿和赤铁矿之类的矿物，都是用来作为着色原料或彩绘颜料的，如磁州窑用的“斑花石”、景德镇用的“赭石”等。

地壳中所含氧化铁类矿物是非常普遍的。磁铁矿 (Fe_3O_4) 的晶体结构为尖晶石型 $A^{2+}B_2^{3+}O_4$ 结构，Fe^{2+} 离子占据 A^{2+} 位，Fe^{3+} 占 B^{3+} 位。通常以块状或粒状存在，不透明，呈铁黑色金属光泽，硬度为5.5～6.5，密度为4.9～5.2，有强磁性特征。赤铁矿常呈板状、块状或粒状，块状的呈铁黑色，粉末状的呈红色或赭红色，硬度为5～6.5，密度为5.26。红色土状者称代赭石，薄板状晶体的集合块称为云母赤铁矿。赤铁矿主要是由磁铁矿经风化或直接变化而成。褐铁矿 ($Fe_2O\cdot H_2O$) 在自然界中存在为 α 型的针铁矿和 γ 型的鳞铁矿。褐铁矿为次生矿物，是由含铁矿物经过风化分解形成氢氧化铁残留而成，其中多依风化状态和原矿的种类而异，分为红土型和钙质红土型等多种形态。褐铁矿有黄褐色、赤褐色和黑褐色多种颜色。一般用来作为陶瓷颜料使用的多半是褐铁矿或赤铁矿以及由它们分解出的氧化铁和粘土及其它矿物混合组成的含铁粘土。表2-10列出了景德镇和浙江等地区用的紫金土和含铁矿物。

表2-10　陶瓷用含铁矿物和粘土的成分

名称	化学成分 (m%)											备注
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	烧失	总计	
紫金土（景德镇雷峰山）	62.7	20.53	6.23	0.73	0.23	0.42	2.33	0.21	0.17	6.46	100.01	[11]
乌金土（景德镇牛角山）	69.58	7.69	13.40	0.49	0.40	0.41	0.25	0.56	0.08	4.31	99.77	[11]
紫金土（浙江大窑高际头）	66.93	18.01	3.11	0.45	1.23	0.51	5.28	0.45	MnO 0.03	4.47	100.47	[7]
赭石（江西庐山）	39.82	9.38	38.84	0.47	0.40 (BaO 1.94)	0.71	2.11	0.36	0.07 (MnO 0.04)	5.60 (S 0.53)	100.26	[11]

5．钠钙玻璃

钠钙玻璃主要用于颜色釉中作为熔剂原料，常用的有绿色瓶玻璃和无色的窗玻璃，都是粉碎后使用，其化学成分列于表2-11中。绿玻璃多用于郎窑红和均红铜红釉中；无色窗玻

璃多用于美人醉和祭红(霁红)等铜红釉中。

表 2-11 玻璃的化学成分[11]

名称	化学组成(重%)											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	B_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	[illegible]	P_2O_5	BaO	总计
[illegible]	68.98	2.32	0.58	0.21	12.60	0.41	0.74	12.46	0.02	0.07		98.50
无色玻璃	70.46	2.04	0.45		7.59	3.54	1.20	13.82		0.01	0.20	99.51

6．*砷矿和硝酸钾*

砷矿主要含 As_2O_3,亦称为"信石",主要用于釉上彩作为乳浊剂原料。硝酸钾又称为"牙硝",含 KNO_3 98～99%,呈白色粒状结晶,也是在制作低温色釉和釉上彩时作为引入 K_2O 的主要原料。

7．*钴矿和氧化铜*

钴矿一般使用钴土矿,其中含 MnO 高,常含有一定量 Fe_2O_3,通常作为蓝色釉的着色剂和青花釉下彩的原料。氧化铜一般采用锻铜加工时剥掉下的氧化铜表皮,景德镇俗称"铜花",将它加工成灰黑色粉末,淘洗后用作铜红釉的着色剂和釉里红釉下彩的原料,以铜花研细的粉末又称"铜末"。

常用于青花釉下彩的钴土矿以云南出产的质量最好,浙江和江西的质量较差些,含 MnO_2 量很高,常用于低温颜色釉中作为着色原料,江西赣州产的"珂珠"和高安产的"韭菜边"两种钴土矿的锰含量分别为 20.03% 和 25.96%,是国产钴土矿中含锰量最高的一类。

8．*白铅和锡灰*

白铅又称"铅粉"或"元粉",为碱式碳酸铅,含 $Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$ 99.26%,水份 1.61%。Pb 含量为 72.54%,是配制低温釉的主要原料,也常用于作为主要原料配制某些釉上彩。

锡灰为深灰色块状的锡铅合金料,其中含 SnO_2 20%,PbO 78.98%,另有少量 SiO_2、Na_2O 和 CaO 等杂质,为配制某些釉上彩用的原料。

以上制备色釉和釉上彩的原料在五十年代初进行的技术总结中作了详细记述[12]。

参 考 文 献

[1] 古木文平著,张绶庆译,《非金属矿物工学》,科学出版社出版,1962, 401 页
[2] 周仁等,《景德镇瓷器的研究》,中国科学院冶金陶瓷研究所专刊,科学出版社,1958
[3] 郭演仪,景德镇陶瓷学院学报,5[1],55～68,1984
[4] 郭演仪、李国桢,硅酸盐学报,12[2],226～235,1984
[5] 李国桢、郭演仪,硅酸盐学报,11[3],306～313,1983
[6] 张绶庆等,"景德镇制瓷原料的化学矿物组成",中国科学院硅酸盐化学与工学研究所刊,1959 年 11 月
[7] 周仁等,"龙泉青瓷原料的研究",《中国古陶瓷研究论文集》,轻工业出版社,1983
[8] 郭演仪等,硅酸盐学报,8[3],222～243,1980
[9] 郭演仪等,"古代龙泉青瓷和瓷石",中国古代陶瓷科学技术第二届国际讨论会,北京,1985 年 11 月
[10] 郭演仪,李国桢,硅酸盐学报,13[2],198～2[illegible],1985
[11] 景德镇陶瓷研究所,《技术合作资料汇编》,1956

第三章　成形和装饰工艺

FORMING AND DECORATING TECHIQUES

成形和装饰工艺是日用瓷和美术瓷最重要的工艺环节之一。成形工艺不但确保了陶瓷器具有一定形状和尺寸，而且还满足了实用和美术上的要求，使陶瓷器具有一定的艺术欣赏价值。成形后通过装饰工艺，陶瓷器的艺术价值倍增，更加完善了制品的外观质量、丰富了供人欣赏的艺术内容。中国传统名瓷既是工艺品，又是艺术品，这是与成形和装饰方法的发展有密切关系的。中国传统制瓷的成形方法都是可塑法成形，即将粘土等原料掺合一定量水分，形成可塑状态的泥团，然后用手工或印模塑制成所需要的形状和尺寸的素坯体。原始陶器的成形完全是用手工，后来发明了轮盘和模型，才由全部手工逐步过渡到使用慢轮、快轮和模型等各类辅助工具。陶瓷器的成形和装饰都是按照预定设计的造型和装饰，借助一定工艺方法完成的。随着时代的演变和经验的积累以及技术的进步，成形和装饰方法也不断改进和趋于完善，新的技艺不断创新，因此，中国传统名瓷之所以著称于世，在颇大程度上是由造型和装饰艺术达到高度完美的结果。

一、成形方法和造型

新石器时代陶器的成形全靠手工制作。大型器物采用泥条盘筑法和圈筑法成形，小型器物则直接用手捏制[1]。仰韶文化的陶器，一部分开始使用结构简单、转动很慢的慢轮辅助成形，但大部分采用手工成形[2]。制成陶坯后，内壁留有明显的凹凸不平，外壁则精心修削打磨。以慢轮成形的陶器，其修坯和纹饰也在慢轮上进行。分布于山东、苏北的大汶口文化开始出现了轮制技术，山东龙山文化继承了这种轮制技术[3]，普遍采用后，使陶器的产量和质量都有了很大提高。轮制成形法是将可塑的泥料放在快速转动的陶轮上，以拉坯的方式成形器皿。轮制成形比手工成形有了很大的进步，制作的器皿器形规整，厚薄均匀，可以制作器壁很薄的陶器制品。在新石器时代的制陶成形技术发展中，模制的方法已开始形成，某些特殊器形的产品往往要借助于模子成形，多半是以陶模作为内模形成器物。直到秦汉，都是靠手工捏塑、模型压印和轮制等几种成形手段配合使用来制作陶瓷器。据发现，东汉晚期已有陶车[4]，即所谓的辘轳车，它是由瓷制的臼状瓷质轴顶碗作为轴承构成，顶碗内部均匀涂敷青釉，镶嵌在轮盘中心，放在轴顶上，可借外力的推动，使轮盘快速而持久地转动，陶车的出现更加速了瓷器生产效率。随着陶瓷成形技术的不断发展和对造型设计不断提出新的要求，辘轳车的构造也逐步有所改善，以适应高技术难度器形的生产和效率的提高。同时，切削和修坯的刀具以及补水用的笔和表面修饰的工具等也都相应地得到改进和完善。借助辘轳车拉坯成形在中国传统瓷器生产中占有十分重要的位置。所有盘、碗、盅、碟、盏、钵、壶罐等圆器制品都用在辘轳车上拉坯的方法成形，瓶、樽、罍、彝等琢器中的圆形器皿亦采用辘轳车拉坯的方法成形，唯大形制品和曲率变化较多的产品才常由分节拉制成形后再镶接的方法成形。坯体拉制的尺寸则必须根据原样的尺寸，按烧成收缩率计算放大确定。

模印成形的方法也使用得相当普遍，在我国名瓷生产中结合印花装饰流传十分广泛，定窑、耀州窑、临汝窑、景德镇窑以及德化窑都有使用模印成形的印花瓷器产品。模印所用的模型一般是用较细的粘土制作而成，经过精细雕刻加工好的模型，在较低的温度下烘烧，使其具有一定强度，并保持较高的气孔率，以具有较强的吸湿能力。当具有可塑性的软泥在模上翻印时，靠外界的压力使坯泥紧贴在具有阳纹或阴纹的模具表面和透入纹内；同时，模具对坯泥也有一定的吸附作用，在印制过程中一部分水份被模具吸掉而呈半干状态，以利于在较短的时间内即可脱模。

雕塑成形的方法在我国起始很早，远在商代已盛行，多为动物的陶器雕塑品。秦汉时代，陶塑工艺已相当发达，秦始皇陵外围发掘的陶俑和陶马，表明当时塑造技术已十分成熟。人马的千姿百态，生动逼真，也是艺术上的巨大成就。雕塑成形技术也是表达陶瓷产品艺术效果的重要技术途径。这种方法一直得到发展并延续到现代，如德化窑白瓷的达摩、观音、寿星和罗汉等人物的雕塑品；景德镇窑所塑造的各种动物和人物的瓷塑品，都显示了雕塑技术的高超水平。

成形方法是根据造型的要求选定实施方案的，各个历史时期的造型都具有自身的特点，这与各时期的文化生活习俗以及工艺发展的水平都有十分密切的关系。秦汉时期使用墓葬陶俑，促进了手工陶塑工艺的发展。汉代佛教的传入，开始兴起了模印和堆塑莲瓣的成形和装饰。宋元以后外销瓷业发达，造型包含了许多适应国外要求的样式。因此，造型的演变在我国陶瓷技术的发展中内容十分丰富，同一类器物随着地区和时代的不同，其造型也有各种变化，而且随着时代的变迁和要求还不断有新的造型器物出现。以最常见的罐、瓶、碗来看，从新石器时代各时期的陶器造型到明、清时期的瓷器造型有着非常明显的变化，简单示于图3-1中。

同一时期同类器物的造型也有多种设计式样，宋代各式瓶的造型有二十多种典型的形体，不少都有明显的时代特征，有玉壶春瓶、梅瓶、扁腹瓶、直颈瓶、瓜棱瓶、橄榄瓶、胆瓶、葫芦瓶、双耳瓶、六管瓶、弦纹瓶等。器形实用美观，配以各种装饰，可以构成更多体形的器物。因此，陶瓷器的造型除了继承已有的成就外，多根据时代生活需要和文化发展特点以及工艺美术水平，创造出了具有各时期特征的一系列品种。

景德镇的拉坯成形方法比较典型。各道工序都比较细致和考究。成形前，首先将坯泥制好。制备坯泥的方法先是将从各原料产地运来的不子按比例投入盛水的木桶内，用木棍搅拌成泥浆，待水静止后，过片刻用勺将悬浮在上层的细颗粒泥浆漂出，放入两边的沉淀用木桶中。待泥浆中的细颗粒沉淀于木桶底部，再将沉淀桶中的清水移入中间桶内，然后再次进行搅拌，再将悬浮在上层的细颗粒泥浆漂入两边的沉淀木桶内，如此反复操作数次，直至沉淀桶内泥浆装满。然后将沉淀桶中的泥浆经过沉积，将清水漂去，最后将浓稠泥浆搅动后移入低温烧过的匣钵内自然过滤，待成为泥状后，移放在储泥房的青石板上，再次经练泥使均匀备用。

景德镇一般将坯泥放在铺垫好白布的长条凳上搓揉练制，主要是靠手工搓揉将空气排出，按横竖方向交替揉练挤压，最后制成椭圆形泥团。拉坯使用时自泥团上取下所需的泥块进行拉制。

拉坯成形在辘轳车上进行，辘轳动力是靠手用木棒插在辘轳车平盘上的洞眼，双手拨动车盘，借车盘的惯性转动以手拉坯成形。坯体拉制的程序是，先在车盘中心放置一块垫饼，

	罐	碗	瓶
仰韶文化彩陶			
商代			
三国			
隋代			
唐，宋			
元代			
明，清			

图3-1 各时期罐、碗、瓶造型的示意举例

用双手将其拍打成扁圆形，使车速加快后，以两手掌相向方向用力挤压泥坯，使泥坯逐渐向中心和向上捧起，将泥坯挤成长柱形，然后再向下压成扁圆形，如此捧起压下实际上是借助转动在车上再次练泥。练完后两手蘸水，用右手掌压泥柱的中心，呈涡形后，将水放入，左手扶贴泥柱外壁，右手并拢后自中心插入泥柱近底部，用力向外并变换手法，双手呼应逐渐使泥柱变成圆筒状。如果拉制圆盘，则使圆筒高度接近其半径，双手在筒边口捏制出盘的边沿，再用手掌从盘底中心逐渐向盘边来回压碾以使盘底展平，然后双手分别在内外壁拉出盘子外形；并用手指修正盘的折边宽度和斜度及口径和高度。拉好后将坯连同垫饼一起自车上取下置于凉坯板架上放在空气中干燥。干至一定程度，再将毛坯放于辘轳车上利坯(即修整)。利坯时首先对好坯体中心，右手持刀具，左手拇指按住刀的一头，自圆心处开始向外旋削，然后利出圈足高度，挖出圈足底面，并利出外壁，内外均从中心开始，向外或口沿利平。大形器物则需分段拉制，然后用泥浆粘结连成整件再利修光平。利好的坯体如有小孔或裂缝，可以将泥料蘸水填补，用工刀压紧刮平。如表面粗糙或有刀痕则可用一种特制的羊毫笔蘸清水在坯上涂抹，将填修或原有的不平处一修面光，这种方法谓补水。

二、原料处理和成形的关系

传统陶瓷利用可塑成形的方法基于原料加工处理后组成的坯泥具有可塑性。可塑性通常是指坯泥在外力下获得一定形状而不产生裂纹，外力除去后并保持该形状的性质。一般希望坯泥具有较高的形变屈服值和较大的塑性延伸形变量，这样既可保证成形时被成形的部分有较好的稳定性，又可不致在成形施力过程中产生裂纹或开裂。手工拉坯成形时器件受力较大，形状在拉制定形过程中变化幅度亦较大，外形也比较简单粗糙，因此，要求坯泥的延伸形变量大，水份含量适当高些，其屈服值则不必太高。雕塑成形操作十分精细，受力不大，故要求坯泥的屈服值高，延伸形变量不一定很大。就传统用的原料而言，南方诸窑使用的原料主要是瓷石和原生高岭。瓷石中所含矿物组成主要是石英、绢云母，有的瓷石含有部分高岭石矿物。石英为瘠性原料，高岭石和绢云母的可塑性均属中等。因此，南方诸窑使用的原料必须进行撞碎和淘洗等加工处理，将原料中的部分瘠性成分去除，选取其较细颗粒

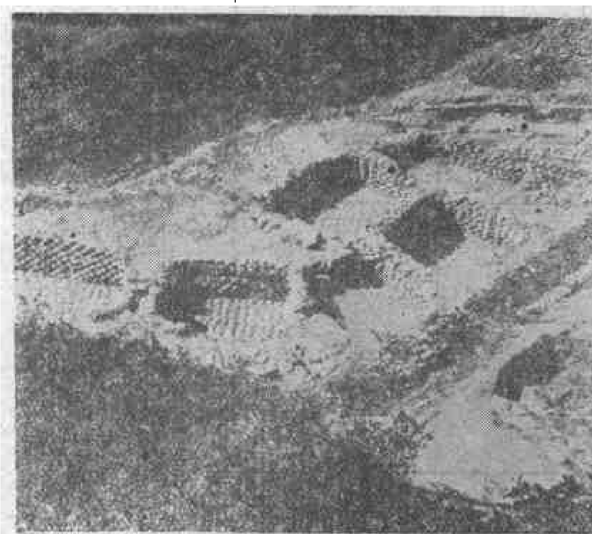


图3-2 龙泉地区安福乡古代淘泥池全景

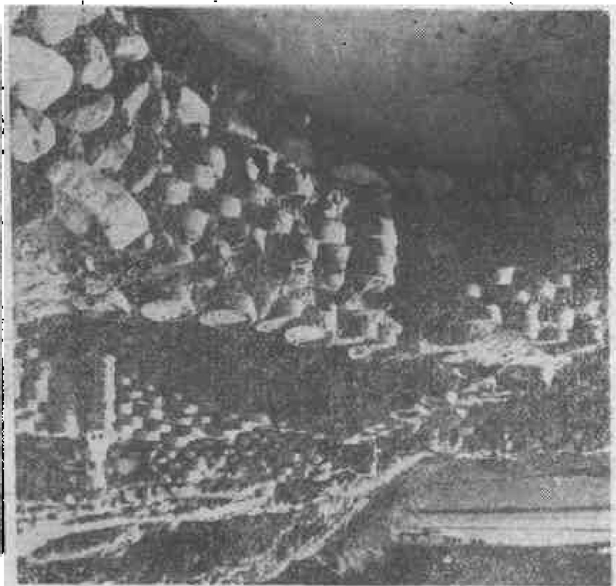


图3-3 淘洗池间水门设置情况

部分，以提高所用原料的可塑性。如景德镇所用的高岭土和瓷石，都是经过几次淘洗后方可使用。为了增加坯泥的塑性，常将坯泥贮藏较长时间，使其经过陈腐，然后使用。在古代，原料淘洗处理是非常受重视的。据考古发掘*[5]，宋、元、明时期龙泉地区所用淘泥池已相当考究，淘洗池的组合是由几个构成一组，底部和周围都是由已烧过的匣钵砌成，如图3-2和3-3所示，图3-2是淘洗池组的全景，图3-3示出了连通各池的水门。经过捶碎的瓷石原料，在一组水池中多次沉积和淘选，最后获得可塑性可达到能实际使用的原料。北方各窑区制胎用原料都是原始颗粒较细的粘土，属二次沉积粘土，一般可塑性都较好，一部分硬质的块状粘土经过碾压粉碎和粗选即可使用。传统的北方瓷器都是含铝量很高的胎质，制胎用原料大部分是粘土，从成形和成形后的坯体强度来说，比南方瓷器的成形制作更加有利和方便。

三、装饰工艺

装饰工艺是提高传统陶瓷质量和艺术价值的极为重要手段，特别是供陈设的美术陶瓷，更要求有较高水平的装饰。在我国传统名瓷的发展过程中，在装饰工艺方面取得了许多进展和成就，为陶瓷器的声誉增色非浅。

传统陶瓷的装饰方法很多，主要的装饰技法可归纳为，(1)化妆土；(2)绞胎；(3)雕印；(4)色釉；(5)结晶釉；(6)纹片釉；(7)釉上彩绘；(8)釉下彩绘等。这些装饰的方法是随着陶瓷工艺技术的不断革新逐步形成和成熟起来的。

(1) 化妆土装饰　化妆土装饰方法一般是在坯上先施一层含铁质少的粘土层，然后再施釉层。其目的是增加胎的白度和表面细腻程度，以提高瓷器外观质量。我国许多窑区，特别是北方的若干民窑区，所制陶瓷器用的原料质量较差，常有杂质黑点和缺陷，坯面也较粗糙，为了覆盖弥补这些缺陷，常采用施加化妆土的方法，以改善其外观质量。这种装饰方法远在彩陶制作时已经采用，施加在彩陶上的白色"陶衣"就是为了使陶器装饰得更加美观。化妆土的施加可以采用浸渍和浇挂两种方法，但化妆土料的收缩性能和热膨胀性能要与坯胎接近和适应，否则会产生干燥或烧成后的开裂或剥离。一般，北方诸窑都使用粘土质原料制胎，基本与化妆土的原料类型一致，故还是适应的。河北、河南、山西所产白瓷使用化妆土十分普遍，磁州窑白瓷还有在化妆土层上剔刻花纹图样的装饰，这也是进一步利用化妆土作为装饰手段的创新。著名的邢窑、定窑白瓷，一部分精细的高质量白瓷产品都不使用化妆土装饰，而是直接精选原料提高瓷胎质量，使内在和外观质量都达到较高的水平。南方个别瓷窑的某些制品也有仿效使用化妆土装饰的，如吉州窑，但大部分窑区都不使用这种技法装饰瓷器。

(2) 绞胎装饰　绞胎装饰是唐代创造的新工艺，这种工艺方法是将两种预先掺有不同色料的坯泥按一定顺序相间揉合在一起，然后拉坯成形，使瓷胎烧成后具有两种相间的纹理装饰。一般多用白色和褐色两种色调合成，效果类似木纹。由于纹理变化多样，制成的瓷器十分别致美观。绞胎装饰也可以手工捏合而成，如把各色坯泥切成薄片，然后交错叠在一起，粘结后形成纹理交错的泥块，用以镶接或捏塑成形，制成器物。河南陕西两省唐代墓葬中曾出土过这类绞胎瓷，巩县窑址也曾发现过绞胎花枕瓷片，这说明绞胎瓷的制作多是在河南、陕西一带。

(3) 雕、印装饰　雕、印装饰技术包括印花、剔花、划花、刻花、堆花、贴花、镂空、浮雕以

* 中国社会科学院研古考究所发掘。淘洗池照片由该所李德金同志提供。

及雕塑等装饰技法。

早在新石器时代，为了美化陶器，已采用压印、拍印和刻划的方法来装饰陶器。压印是用已有花纹的实物作为工具在陶坯上压印出排列规整的条纹图案，如用绳压印出的绳纹是一种最典型的装饰。拍印是用刻好条纹、方格纹或其它几何图案纹样的木板拍或陶板拍，在陶坯表面上拍打，陶器内壁则垫以硬砾石或陶块，以防变形，经拍打后陶器表面出现相应的几何纹饰。刻划则是以细木棒在陶坯表面划上弦纹或几何纹，或用篦状工具压印成篦纹。夏商时期，拍印的纹饰图案有所增多，其中有饕餮纹，夔龙纹，人字纹，花瓣纹、云雷纹、漩涡纹，曲折纹、回纹、连环纹、蝌蚪纹、圆圈纹和火焰纹等。纹样十分丰富，几种典型图案如图 3-4 所示。随着印纹硬陶和瓷器的出现和生产，图案纹饰更加多样，又创造了如篮纹、叶脉纹、锯齿纹、席纹、S 形纹、水波纹等。

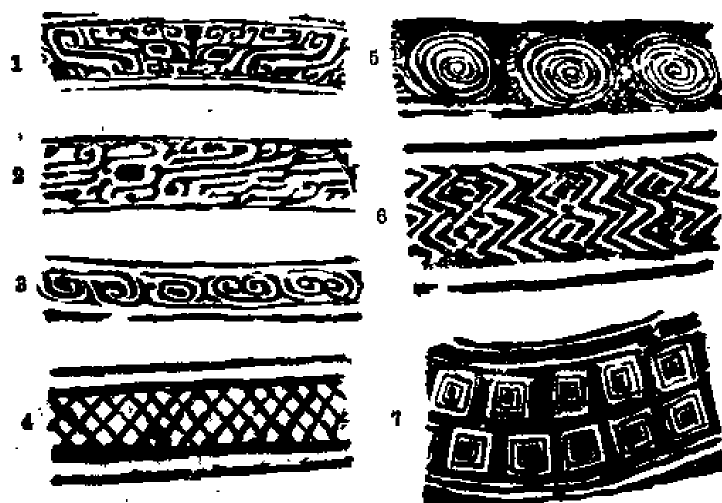


图 3-4 几种典型拍印纹饰[6]

1—饕餮饕纹；2—夔纹；3—云雷纹；4—方格纹；5—旋涡纹；6—曲折纹；7—回纹

商代已有陶器模印的方法。隋代模印的印花装饰已成为一种常用工艺。隋代瓷器模印图案后，在表面施釉，烧后显现出花纹装饰。流行的纹饰有花朵纹、草叶纹和几何纹等。划花是利用锐利工具在瓷坯上借一定手法快速划出各种花纹图案，施釉烧成后显露出花纹装饰，常见的纹样有莲瓣纹、卷叶纹、波浪纹。刻花也是用锐利刀具在胎上雕刻成花样图纹。唐宋时期，陶瓷的装饰有了很大发展，如唐代的印花、划花和三彩并用装饰，定窑刻花和划花的并用结合，都表明了装饰技术的逐渐成熟与进步。到了宋代，各名窑中采用刻花、印花和划花的装饰非常普遍，诸如定窑、耀州窑、磁州窑以及河南地区临汝窑、当阳浴窑等都十分盛行。宋代的花样纹饰也是极其丰富的，花卉纹饰是主要题材，另有龙凤、鱼、鸭、山水纹、花鸟、鸳鸯、婴戏，采用回纹，卷叶纹、云头纹、莲瓣等纹饰作间、边装饰也都是常见纹饰题材。牡丹花纹象征繁荣昌盛、美好幸福，耀州窑和定窑瓷器都常有牡丹纹饰图样。莲花纹主要是受佛教影响形成的陶瓷主要装饰题材，宋代龙泉窑、定窑、吉州窑、景德镇窑以及磁州窑的产品上都有题材多样的莲花纹样。婴戏纹是描写儿童动人的活泼情趣，耀州窑、定窑，景德镇窑和磁州窑制品中最常见，画面自然生动、富有生活气息，颇受人喜爱。龙纹象征着封建皇帝的权威，御用器物均布满着各种姿态的龙纹，定窑、耀州窑和磁州窑的瓶、盘、碗等器物上都印着或刻划着用不同技法表现的细致有力的龙纹。凤纹也是表现高贵的一种纹饰，定窑和

景德镇窑的盘、碗上常出现长尾的凤纹装饰。凤常配以牡丹花衬托装饰，吉州窑的剪纸手法在装饰器物上常有双飞凤纹，耀州窑的印花凤衔牡丹纹碗也是北宋期流行的纹饰。花鸟纹是宋代磁州窑常用的装饰题材，生动活泼、富有情趣。鸭纹在临汝窑、耀州窑、定窑以及景德镇窑的产品中也常用，辅以水草、芦苇、水波、荷莲等纹饰，实为真切动人，磁州窑的瓷枕上也常有游鸭，双鸭和鹰逐鸭等图纹装饰，构图简洁，线条自然流畅。鱼纹是龙泉窑、定窑、耀州窑、磁州窑和景德镇窑多见的装饰画面，常以水藻、水波纹、莲叶等纹饰托出鱼的游动姿态，加上与釉色结合，更增加艺术感染的诗意。鸳鸯纹、鹿纹以及作为辅助装饰的卷叶纹、回纹、S 形纹、钱纹以及蕉叶纹等都是宋代装饰瓷器中广泛使用的题材。

堆花是用泥料在器物表面堆塑各种纹饰。贴花是将模印或手捏塑的装饰部件用泥浆粘贴于器物上。堆、贴花工艺在秦汉时期陶器的塑造中已使用，如秦俑坑内发现的大批珍贵的陶俑和陶马，都是分别塑、印部件，然后粘接为整体，堆、贴技法当时占有相当比重。唐代在堆、贴花工艺上有所发展，并十分盛行，纹饰更加精细和新颖优美，曾创作出过许多堆、贴花装饰的精品，如凤头龙柄壶和堆花青瓷壶。汉代佛教输入我国，陶瓷装饰上也受到佛教艺术的影响，莲花是佛教艺术的题材之一，陶瓷上的莲花装饰最为突出，经过西晋、南北朝至隋唐，长期吸收融化之后，已变成广为使用的大众化的优美纹饰。常以堆、贴和浮雕等技法表现各种形态莲瓣和其它纹饰，实际上，堆、贴技法和浮雕在效果上也有相近之处。

剔花技法乃是用工具将纹饰以外的一层地子剔除，使纹饰留下以呈现浮雕的感觉，有时花叶常划出花蕊叶筋。剔花在河南地区诸窑和磁州窑比较流行，景德镇窑、吉州窑也常有使用，如景德镇有铜红釉的祭红剔花装饰，即在瓷器表面上好红釉，剔除部分非纹饰部分，再上釉烧成后，能显示出凸出的红釉图案。

镂雕技法发展的历史也很长，早在大汶口和良渚文化时期，制作黑陶就已盛行镂孔装饰，有方孔、圆孔、扁孔、三角孔、菱形孔以及各种形状的镂孔，其排列方式也是多样的[7]，这为以后所继承，发展成为复杂的镂雕技术，直到现在还在使用，景德镇最有名的青花玲珑器就采用这种镂孔技法制成了半透明的按一定图形排列的镂孔装饰，十分受人喜爱。还有套层镂雕的花瓶，也表现了镂雕技法的精巧和技艺的高超所取得的奇特装饰效果。总之，雕、印、刻、镂、堆、贴、剔、塑技法的创造和发展为陶瓷器的装饰丰富了不少巧夺天宫的艺术内容，增添了陶瓷器的艺术价值。

（4） 釉的装饰　传统名瓷以釉的变化进行装饰花样繁多，从釉色的变化、施釉方法上的变化、釉层厚度和纹片大小上的变化以及釉中析晶、气泡和分相等的控制都可作为装饰瓷器的手段，而使瓷器具有美丽的艺术效果。

釉色的变化是各种颜色釉，最早的颜色釉是高温烧成的青釉，延续和发展的时间最长，也最为普遍。多种名窑瓷器都是这类以铁离子着色的青釉瓷器，诸如越窑、南宋和北宋官窑、汝窑、耀州窑及景德镇窑的各种青瓷。虽然都是以铁离子着色的青釉，但各具不同特色，色调不同，施釉厚薄也不同，釉的透明度和气泡含量及折晶程度也不相同。北宋和南宋官窑青瓷的釉层十分厚，釉中气泡和晶体含量也较多，有乳浊效果。临汝青瓷和耀州窑青瓷具有透明的特点，釉层比官窑薄，气泡含量较少，胎上的刻、印纹饰通过釉层可显明地露现出来。汝官窑青瓷、龙泉青瓷和景德镇元枢府窑卵色青白瓷，析出晶体量大，釉的乳浊程度很高，虽然釉层厚度不及官窑厚，但其如玉的效果却不亚于官窑青瓷。此外，青釉中的官窑、汝官窑和哥窑中尚有不同类型的裂纹装饰，有冰纹、鱼子纹、蟹爪纹及百圾碎等各种纹片形成的纹饰。

黑釉、褐釉由含铁量较高的釉烧成[8]。这种含铁量较高的釉不仅有纯黑色和褐色的，所谓"乌金釉"和"酱色釉"，同时还有许多形成结晶釉和花釉的品种，如铁锈花釉、茶叶末釉、兔毫釉、油滴釉、玳瑁釉等，釉色和结晶的形状和形式千变万化、丰富多采，特别是建窑、吉州窑、定窑、鹤壁窑出产的各种结晶黑釉十分名贵。有的黑釉上面贴以剪纸纹样或树叶，烧成后形成各种异色的图案，更有引人的艺术效果。

在不同气氛下烧成的含铁釉的着色效果是不同的。青釉在还原气氛下烧成青色，而在不同程度的氧化气氛下则呈各种色调的黄色，如灰黄色、淡黄色、姜黄色、茶黄色等。不同的黄色着色亦显示出别有风味的装饰特点。

以铜离子着色的红釉和绿釉装饰也形成了传统瓷器中的名贵品种，如均窑的红釉和紫红色釉都是铜着色的红釉，明、清景德镇的祭红釉、郎窑红釉、桃花片釉以及窑变花釉也都是有名的以铜离子着色的红釉。由于铜离子的着色对烧成气氛、温度和组成都十分敏感，在技术控制上有较大的难度。一般说要得到较好的红色，釉中铜的含量应小于1%和大于0.1%，浓度高了就会变为绿色。此外，红釉要求在还原气氛下烧成。桃花片釉又称豇豆红釉或美人醉釉，从名称上可见这种名瓷所给人的美感是十分迷人和被人们高度评价的。釉呈淡红色，有局部弥散的绿色斑点，十分幽雅悦目。其制作难度是红釉中最高的一种，因它与施釉的层次和方法都有关系。

蓝色釉是以氧化钴为呈色剂的色釉，我国唐代三彩釉中的低温蓝色彩釉是以钴呈色的铅釉[9]。明代蓝釉则是以景德镇窑烧造的霁蓝釉(或称祭蓝釉)，十分有名，它是由含钙钾为熔剂的灰釉为基釉制成的。清代康熙的祭蓝釉也很有名，祭蓝釉常以金彩装饰或刻、印暗花装饰。蓝色所用原料是用天然钴土矿，其中含有钴、铁、锰等着色氧化物，因此所呈之蓝色带有暗蓝色调，呈色比较古朴。另一种含锰量特别高的钴土矿可作为紫色的低温色釉的着色原料，这种矿在景德镇称为"叫珠"。

以铅釉为基础的色釉最早是氧化铜呈色的绿釉，唐三彩彩釉的发展又创造了钴呈色的蓝色彩釉和铁呈色的黄釉。明代的"娇黄"釉也是低温的以铁呈色的黄釉，含$Fe_2O_3$1.4～3.7%，其颜色的深浅与含铁量有一定关系。铅绿釉发展到明代，制出了一种翠绿色泽的孔雀绿釉，与孔雀羽毛绿色相似，光亮碧翠，故称为"孔雀绿"釉。清代康熙时期孔雀绿釉器制作也颇多，其特征是釉上有细的鱼子纹开片。低温红釉可以用铜或金着色，以铜着色的低温釉外观极似高温釉为基的祭红釉，其铜含量较高温祭红中低。金的呈色带有紫的色调，含量在0.01～0.02%，可呈胭脂红色，康熙至乾隆之间生产这类色釉瓷。珊瑚红色低温釉则以Fe_2O_3作为呈色剂，盛行于康熙、雍正、乾隆时期。低温色釉还有各种色釉混成的"花釉"，也是一些丰富多采的装饰品种。

施釉方法对釉的质量和装饰效果也有重要影响。施釉的方法可以分为涂刷法、浸醮法、浇釉法、喷釉法等四种。涂刷法使用较早，可以将几种不同的釉施于同一坯体上，缺点是易形成厚薄不均的釉层，虽对一般施釉较厚的色釉来说影响不会太大，但要得到均匀一致的薄釉层就比较困难。浇釉法和浸醮法是传统瓷器最常用的方法。浸醮法是手持生坯器皿全部浸醮在釉浆中，在短时间内使之附着一层釉浆，以浸醮时间长短决定釉层厚度。浇釉是将釉浆盛在瓢、勺等容器内，从四周均匀地浇倒在生坯表面，使生坯吸附一层釉层，多余釉浆流回集在盛釉的缸中。这两种方法的优点是釉层均匀，可以控制厚度。喷釉法在古代是靠人将釉浆吹喷成雾，使雾滴附着于坯体表面。喷釉所得到的釉层可控制到很薄和十分均匀，特别

适于薄胎瓷器的施釉，许多精制的产品最外层罩一层面釉，常用喷釉法完成。因一次施釉过厚，容易使釉产生剥离或开裂等缺陷，故大部分传统的颜色釉名瓷都是数层施釉以增加厚度。定窑白瓷和德化釉白瓷以及景德镇窑某些白瓷的釉层十分薄，而宋官窑青瓷、均窑和龙泉窑瓷釉的厚度则非常厚。一般，有刻花、印花等装饰的瓷器的施釉都较薄，色釉则较厚，釉厚可以增加釉的如玉的质感。

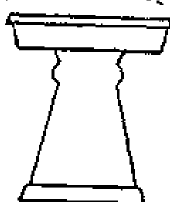
(5) 彩绘装饰　我国名瓷的彩绘可分为两大类，即釉上彩绘和釉下彩绘。早在新石器时代的仰韶文化时期，已经有了彩饰的陶器。彩绘用的彩料有褐色、黑色和白色三种。褐色彩料中的主要着色剂为 Fe_2O_3；黑色彩料为 Fe_2O_3 和 MnO_2，而白色彩料为含铁量低的、有一定 TiO_2 和 CaO 成分的粘土。装饰描绘的图案纹样和题材多富有生活气息，但唐三彩，宋三彩和辽三彩却都是利用多种色彩的低温釉装饰成各种图案的彩色釉陶器，并没有体现绘画的题材。唐代长沙窑的红、绿彩釉下彩绘和河南巩县的青花釉下彩绘虽然数量不多，但为以后发展釉下彩瓷和釉上彩瓷的彩绘技艺开创了新途径。宋代在北方诸窑中彩绘比较多，如定窑有金彩描花装饰，磁州窑的白釉和绿釉釉下黑彩已有相当多的生产数量，这类黑色釉下彩瓷遍及山西、河南诸窑。磁州窑釉下彩绘的工艺直接影响到了南方窑的釉下彩，如吉州窑的釉下黑彩就是在磁州窑的影响和传播下产生的，后来对景德镇彩绘技术的发展也起了很大的作用。元代景德镇青花的许多画法也渊源于吉州窑。实际上，元、明以前瓷器的装饰主要靠雕、印、刻、划等手段，以彩绘为主要方法来装饰瓷器是明代大量开始的。明代彩绘不但有青花和釉里红等著名的釉下彩，而且还有釉上五彩以及釉上彩和青花釉下彩拼成的“斗彩”、“填彩”之类的多种彩绘形式。明代瓷器的彩绘大部分以图案纹样为主要装饰，其中有牡丹、菊、莲、牵牛等花卉的植物图案和龙、凤、孔雀、鸳鸯、狮子、麒麟、海马、鱼等动物图案，另外尚配以各种辅助纹饰。除图案装饰外，明代已有仿国画形式的整幅画面的装饰，至永乐、宣德、成化时期已逐渐普遍。

到了清代，除继续保持和进一步发展青花、釉里红等釉下彩的装饰技法及五彩的釉上彩绘外，又创造了著名的“珐琅彩”和“粉彩”的釉上彩绘方法。珐琅彩是一种以硼作为熔剂，以砷作为乳浊剂的低温玻璃彩料，它是康熙至乾隆时期十分名贵的宫廷用彩瓷。开始所用的彩料从国外进口，珐琅彩瓷类似景泰蓝珐琅器皿的装饰，雍正时期已开始烧炼珐琅彩料，颜色品种比进口的还多。珐琅彩的装饰特点是彩料较厚，凸起较明显，富有立体感。有的彩绘成图案，有的彩绘成花鸟、山水等不同画面。它与五彩之不同在于黄彩是以氧化锑作为着色剂，红彩中之胭脂红是以胶体金着色。粉彩是基于康熙五彩、受珐琅彩的工艺影响创制的一种新彩料。粉彩装饰始于康熙，雍正时期进一步完备。粉彩最关键的地方是采用了以砷作为乳浊剂的白玻料，一般称“玻璃白”。这种玻璃白是一种低温铅玻璃。使用玻璃白彩绘粉彩的方法是，先以玻璃白在需要彩绘的图案上打底，然后将彩料绘加在此玻璃白层上，以笔将彩料按浓、深、浅、淡的顺序和层次渲染分布，使所绘的部分产生浓、淡、阴、阳的立体感和淡雅柔丽的效果。人们常称粉彩为“软彩”，而五彩则相对称为“硬彩”。粉彩的烘烧温度为750℃左右，而五彩则要800℃～850℃，这也是软、硬之分的一个因素。

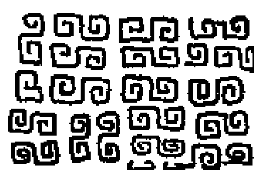
清代康熙、雍正和乾隆三朝被誉为制瓷工艺史上登峰造极的时代，与在装饰上取得了极大成就也有一定关系。各类色釉的创制，多种彩绘技艺的形成，各类色釉和彩绘的组合，加上丰富多样的图案和画面装饰以及雕、刻、划、印、镂、堆等各种技法的综合使用，使装饰在陶瓷上充分发挥其艺术效果。



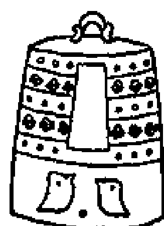
晋瓷羊尊



晋瓷高足豆



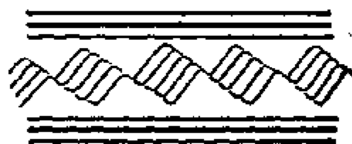
西晋青瓷回纹



青瓷钟



晋瓷鸡头壶



西晋青瓷篦纹

图 3-5　晋青瓷与铜器相近的造型与纹饰[10]



图 3-6　隋、唐、五代陶瓷器形与图案实例[11][12]



3-7(1)





3-7(2)



3-7(3)



3-7(4)



3-7(5)



3-7(6)



3-7(7)

图 3-7 山西古窑黑釉刻、划花瓷片[14]

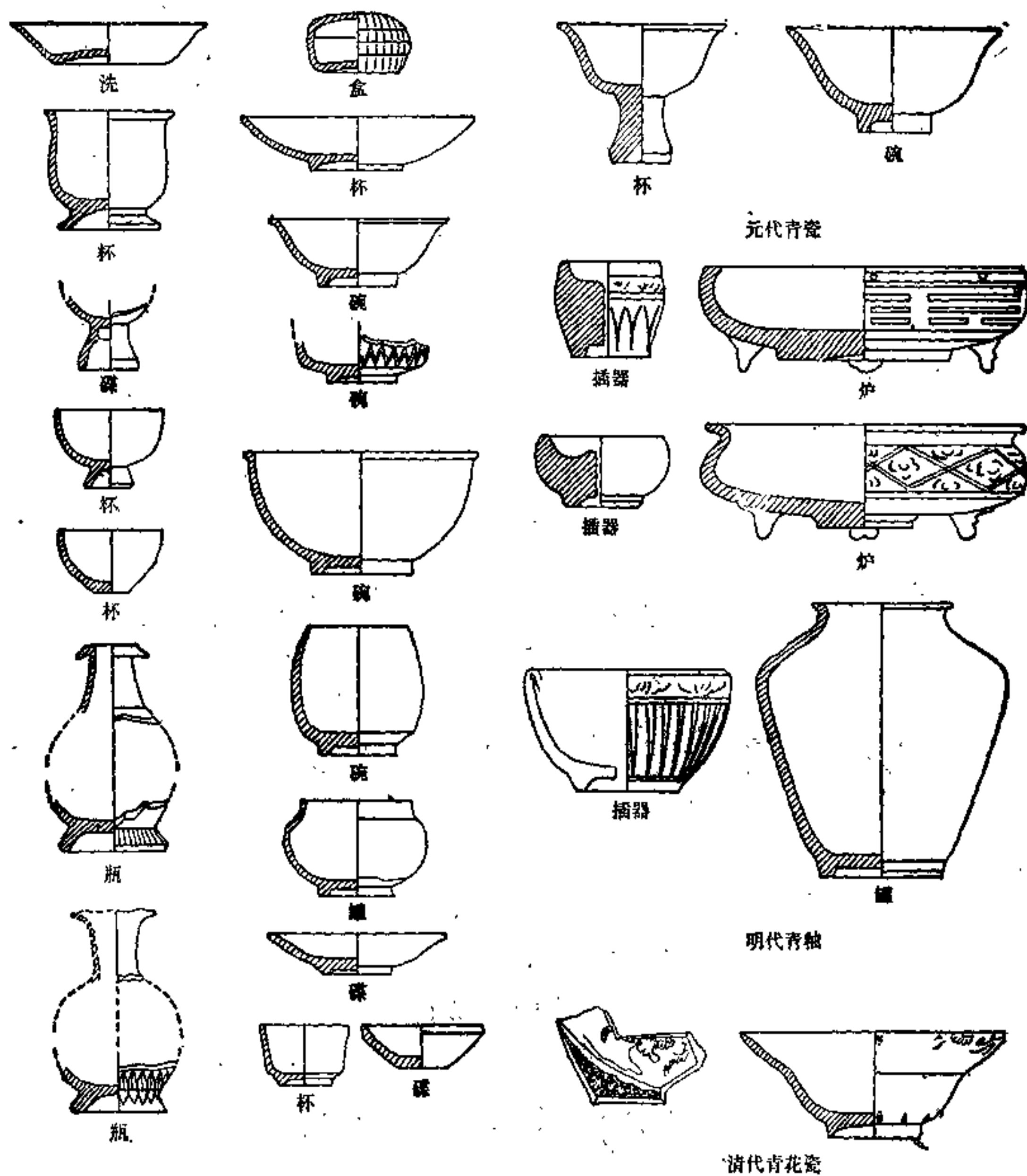


图 3-8 建阳宋、明、清各古窑瓷器器形和花纹[15]

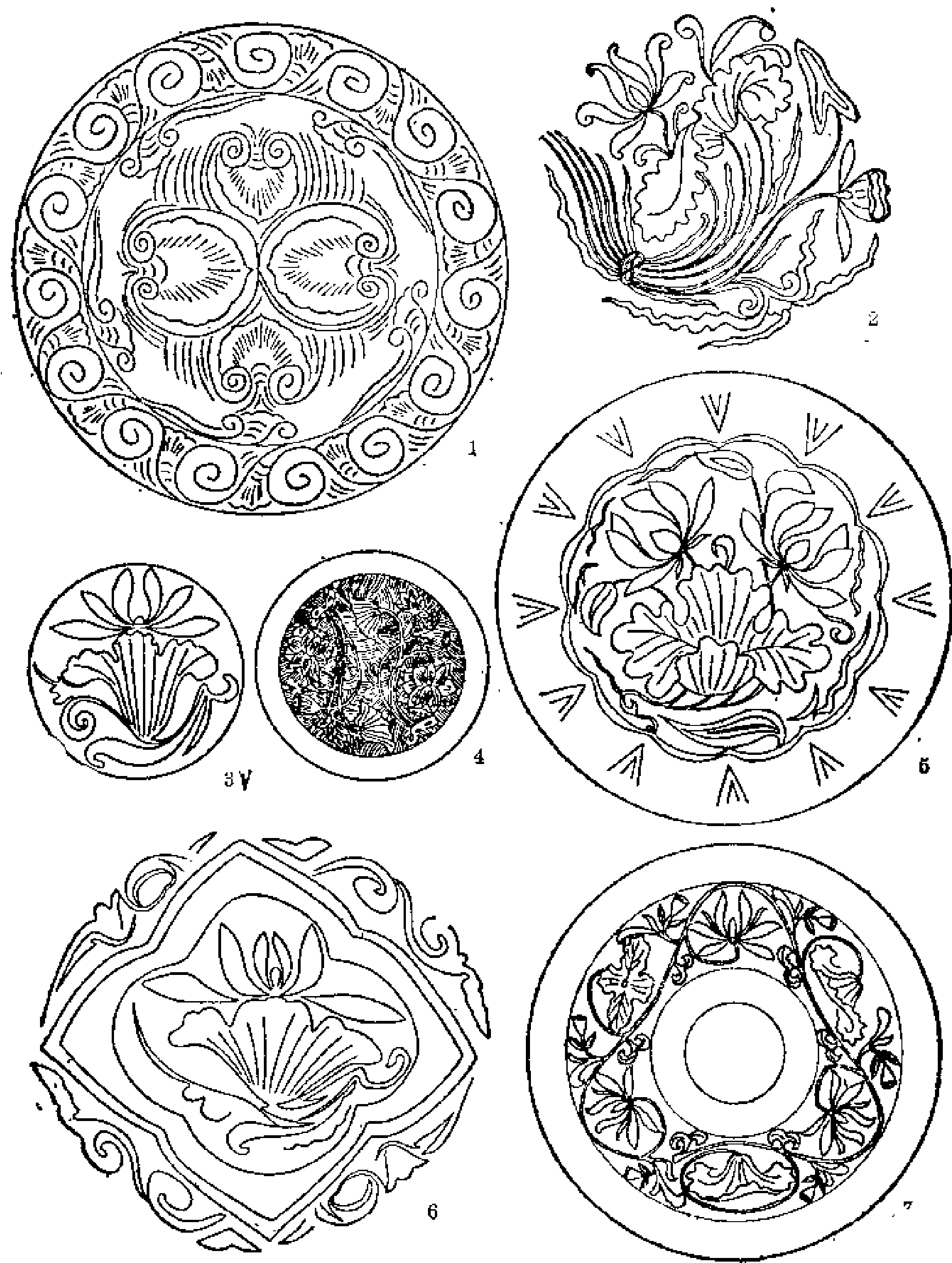


图 3-10 五代至金耀州青瓷刻、印花纹饰[16]

1—五代刻花水波纹；2—宋晚期束莲纹；3—金、元折枝莲花纹；4—宋晚期双束莲花纹；5—金、元并蒂莲纹；6—金、元折枝莲纹；7—金元缠枝莲纹

四、几种典型的器形、图案和纹饰

中国传统名瓷的器形、图案和纹样以及彩绘的内容在各朝代和各窑区都各有特点。例如，魏晋南北朝青瓷继承了秦、汉以来陶瓷受青铜艺术影响而形成的造型艺术成就，许多青瓷器形和纹饰与青铜器类似。南北朝以来佛教传入我国，影响了装饰艺术，莲花、莲瓣纹饰成为陶瓷装饰主题，以后莲花题材失去了宗教意义演变成为传统的优美装饰。又如，元代除继承宋代部分瓷器的造型外，还有新的创造品种，其造型特征是形大、胎厚，形成了元代的瓷器风格。由于各时代和各窑区在陶瓷造型和装饰艺术上丰富多采，变化甚多，不断出现创新，品种极多，这里仅例举少量典型器形、图案和纹饰，以供参考。图 3-5 示出了造型与纹饰近似青铜器的晋青瓷器形和纹样。图 3-6 为隋、唐、五代陶瓷器形与图案实例。图 3-7 为磁州窑系的山西黑釉刻、划花瓷片。表 3-1 为吉州窑各期瓷器器形。图 3-8 为建阳宋、明、清各古窑瓷器器形和花纹。图 3-9 和 3-10 为耀州窑五代至元、金青瓷刻、印花纹饰。有关其它名窑，诸如磁州窑、定窑、均窑、临汝窑、德化窑、龙泉窑、官窑和景德镇历代瓷器都更为丰富多采，在此难以一一叙述，可参阅有关专门论述陶瓷造型和装饰的文献资料。

参 考 文 献

[1] 赵世纲，"裴李岗文化的陶器制作工艺"，景德镇陶瓷，总第 26 期，1~3 1984
[2] 中国硅酸学会主编，《中国陶瓷史》，6~8 页，文物出版社，1982
[3] 同[2]，20~22 页
[4] 同[2]，131 页
[5] 中国社会科学院考古研究所浙江工作队，考古，第 6 期 504~510，1981
[6] 同[2]，64~65 页
[7] 邓白，"略谈我国古代陶瓷的装饰艺术"，《中国古陶瓷论文集》，210~235 页，文物出版社，1982
[8] 凌志达，"我国古代黑釉瓷的初步研究"，《中国古陶瓷论文集》，72~82，文物出版社，1982
[9] 李知宴、张福康，"论唐三彩的制作工艺"，中国古代陶瓷科学技术国际讨论会论文，1982 年 11 月上海
[10] 汤重熹、曹瑞忻，"试探魏晋南北朝青瓷与青铜艺术的关系"，景德镇陶瓷学院学报，2[1]，79~84，1984
[11] P. Hughes-stanton, Rose Kerr, 《KILN SITES OF ANCIENT CHINA》 p. 146, ORIENTAL CERAMIC SOCIETY
[12] 同[2] 189~191 页，220 页
[13] 江西文物工作队、吉安县文物管理办公室，"吉州窑遗址发掘报告"，景德镇陶瓷，总第 21 期，5~23 页，1984
[14] 同[13]图版壹拾叁
[15] 林忠干、王治平，"建阳古瓷窑考察"，景德镇陶瓷，总第 21 期，67~78，1984
[16] 卢建国，"耀瓷装饰艺术"，考古与文物，123~132，创刊号，1980

第四章　烧成技术和窑炉

FIRING TECHNIQUE AND ANCIENT KILNS

陶瓷烧成技术是借窑炉、窑具和燃料加热陶瓷器物，在受热过程中物料本身经过物理化学反应达到各种程度的致密化烧结的技术。它不仅与胎、釉的原料、配方、燃料的种类和性质有关，同时与窑炉结构、窑具、装烧方法的演变和烧成过程的控制都有着不可分割的联系。我国陶瓷历史悠久，可以追溯到旧石器时期。人类在与自然界的长期斗争中，首先发明了火，后来又在长期的实践中，为了满足生活的需要，利用可塑性的粘土和火烧制陶器，从而解决了人类的谷物、饮水的储存和熟食问题，避免和减少了细菌的感染，对人们的健康和人类的文明进步起了重大的促进作用。

根据近年来我国考古工作者大量发掘的资料表明，陶器的出现，不仅标志着人类的文明进步，也开创了人类文化和工艺技术发展的新纪元，但在原始阶段、陶器并非用窑制，大都是在平地上以柴草就地篝火焙烧，即所谓无窑烧陶，迄今我国边缘地区的少数民族仍沿用这种烧陶方法[1]，以解决当前生活中必需的用品。这种烧陶工艺由于比较简单，焙烧温度又不高（约 800°C），为以后发展到有窑烧陶积累了不少经验，乃是一个重要阶段。

从原始社会的末期到新石器时代晚期距今约五、六千年前，已发现有利用粘土就地筑堆的穴式陶窑（见西安半坡村遗址的陶窑），窑室容积甚小，烧成温度亦不高，但陶器的品种如鼎、钵、豆、盆、盉、鬲等都是人们普遍使用的器皿。以后又出现了仰韶文化的彩陶和龙山文化的黑陶，把我国陶器的生产推向新的阶段。

自商、周开始，由于制陶工艺不断地发展，在前人制陶的基础上又制作了烧成温度较高、质地较硬的器物，有的开始施釉。根据发掘的资料来看[2]，商代中期的窑炉结构与商代早期相同，所不同的是窑炉的箅孔加大，有利于提高温度和产品质量。随着时间的推移，陶瓷窑炉的结构与烧成技术均有改进和提高，对陶瓷产品质量的精益求精有很大影响。

我国陶瓷窑炉的演变和烧成工艺技术的发展也是经过从无到有、从小到大、从简单到复杂的过程。从现代科学技术观点分析，陶瓷的烧成是陶瓷工艺过程中最重要的环节，实质上是通过陶瓷在高温下的物理-化学变化过程，获得完美陶瓷产品的关键技术。因此，近年来，国内外不少学者对陶瓷制品在烧成过程中的脱水、分解、致密化、烧结、结晶、扩散以及相变等方面都进行了大量的探讨和研究，以便从工艺基础上深入一步认识陶瓷的受热变化规律，从而有利于更熟练和有效地掌握烧成技术。我国陶瓷制作历史悠久，长期实践中，在烧成技术方面也积累了丰富的经验和技术决窍，它和基础研究的结合将会为我国灿烂文化和工艺技术的进步做出伟大的贡献。

一、原始社会的陶窑和陶器烧制（约 60 万年前～4000 年前）

我国的陶器究竟始于何时？还难以定其上限时期，随着考古的不断发掘，还会不断有新的认识。根据距今约 8000 年前在河南新乡裴李岗、河北武安磁山遗址中出土的陶器和江西

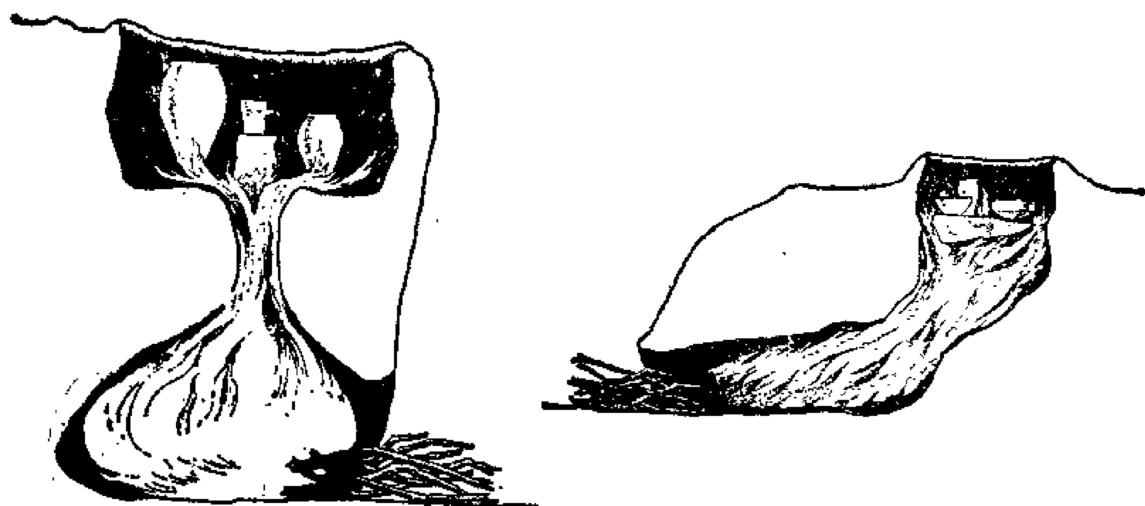


图 4-1　西安半坡仰韶文化早期陶窑

万年仙人洞、广西桂林甑皮岩出土的陶器可知，我们的祖先早在新石器时代初期已能利用可塑性粘土，将其加水调合，手捏成坯体，干燥后再用火烧成陶器。至于是否用窑烧成，迄今无发掘资料实证，但从云南西双版纳傣族和西盟瓦族保留的原始制陶方法启示，可能在新石器时代初期是采用柴草就地篝火烧陶，此种烧陶方法现统称为"无窑烧陶"。到了新石器时代晚期的仰韶文化和龙山文化期间，始发现用泥土筑堆的简易穴式窑，如西安半坡仰韶文化与河南陕县庙底沟龙山文化早期的陶窑，如图 4-1 和图 4-2 所示[3]。

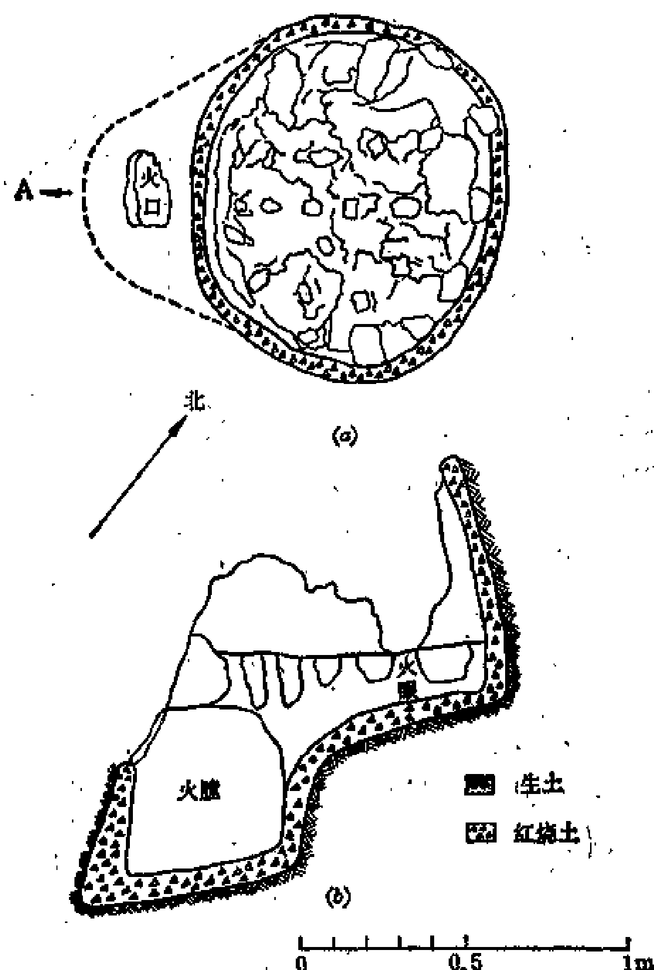


图 4-2　河南陕县庙底沟龙山文化早期陶窑

从图 4-1 可以看出，半坡仰韶文化的窑型分横穴和竖穴两种。这两种窑的结构简单，都是就地用泥挖掘而成，窑室较小，略呈圆形，直径约 1 m。烧时都是在窑底以柴草为燃料，火焰由窑室四周火道进入，无烟囱，温度分布比较均匀。由于窑内热损失较无窑烧陶要小得多，故烧成温度亦较裴李岗和磁山文化的红陶稍高（约 1000℃ 左右）。从热工观点分析，尽管窑型结构还较原始，但有了窑以后，不仅热损失小，而且当燃料燃烧时，进入窑内的火力比较集中，温度易于升高，坯体易于烧结，有利于提高陶器质量。故从无窑到有窑烧陶在技术方面是一大突破。

到了龙山文化时期，基本上都改用竖穴窑烧制陶器，如河南陕县庙底沟龙山文化早期的

陶窑(图 4-2)。窑由火膛、火道、窑室三部分组成，窑室位于火膛之上，火膛较深，位于窑底的火道分三股主火道，两侧的主火道还有支火道，火道上还分布有 25 个火孔。窑室呈圆形，直径约 1 m。当燃烧时，由于火膛较深，一次空气供应充足，使柴、草等燃料得以充分燃烧，火焰很均匀地从窑底的火道再进入窑室，使窑内的温度提高。值得注意的是，窑壁上部往里收缩，窑室结构有利于窑内温度的提高(一般为 900～1050°C)，这对保持窑内温度的均匀以及减小窑内各部温差是有利的，也说明这种竖穴窑较裴李岗文化和仰韶文化时期的横穴窑又前进了一步。

龙山文化的后期，由于烧陶技术不断改进，竖穴窑采用更加普遍，如河南陕县三里桥窑(图 4-3)，虽也属穴窑，但在结构上又有新的改进，较庙底沟窑更趋合理，它不仅加大了窑室容积，增设了四条间隔均匀的火道，而且燃烧室(火膛)也设在距离窑室较近的前面，这样对于燃料的充分燃烧，窑室温度的提高和温度的均匀分布更为有利，因此这种窑型一直延续到龙山文化后期。据资料分析[4]，烧成温度可达 950～1050°C，窑内气氛也便于控制，故对龙山文化晚期制陶技术的提高有重要作用，而且为以后演变为馒头窑、倒焰窑的设计奠定了良好的基础。

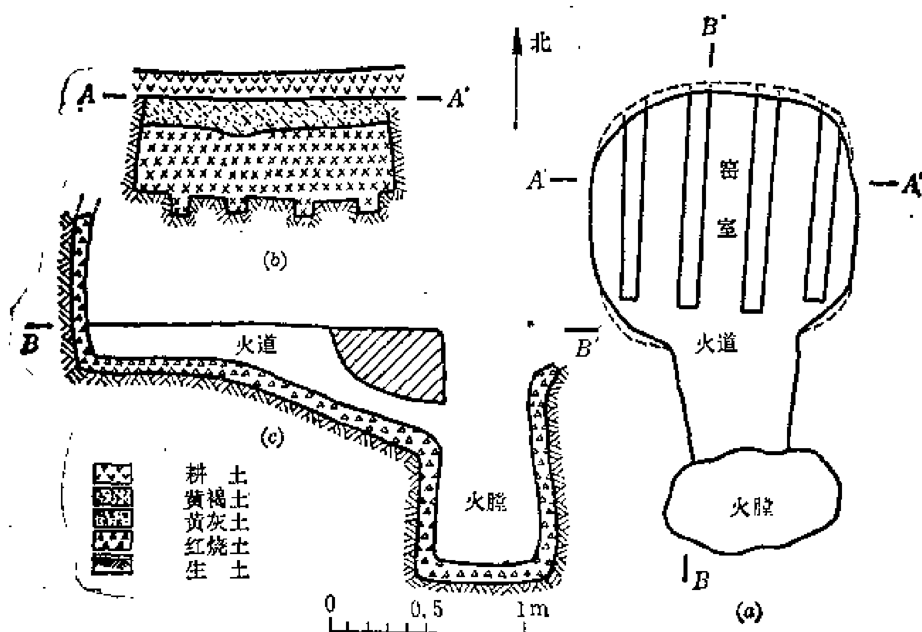


图 4-3　河南陕县三里桥竖穴窑

二、夏、商、周、春秋时期的陶窑和改进(公元前 21 世纪～公元前 476 年)

夏、商、周、春秋时期又称奴隶社会时期，前后共约 300 年。随着社会劳动分工不断扩大，农业、手工业和畜牧业日益发展，社会经济和文化事业更为繁荣，陶器的生产技术也因之不断地改进和提高，对我国陶瓷工业的发展产生了极深远的影响。

根据已发掘的资料，陶器的生产大都集中在黄河流域中下游地区，如郑州洛达庙商代早期的窑(图 4-4)，它虽然具有馒头形的窑型，但对窑的结构有所改进。窑底部直径增到 1.4 m，火膛增高(0.8 m)，箅孔(即火孔)增多加大(直径 0.1 m)且分布均匀。窑室的窑墙向内呈圆弧形倾倒收缩，这样燃料既可以得到充分燃烧，又可使热气流均匀地进入窑内，这对提

高窑内温度，改进陶器质量是有利的。

商代中期的窑型基本上与早期差不多，从河南郑州铭功路商代中期的窑型（图 4-5）来看[6]，更近似于现代馒头窑型。它的整个窑室位于火膛之上，即火膛直径与窑室底部直径相同（1.15m），箅孔直径约为 0.14～0.18 m，火膛与支柱的高度约 0.68 m，从图中得知这座窑的箅孔直径较商代早期大。虽然这座窑的火膛和支柱较商代早期的稍低，但箅孔较大，使进入窑内的火焰较多，增强窑内的热量，对提高窑内温度也是有利的。

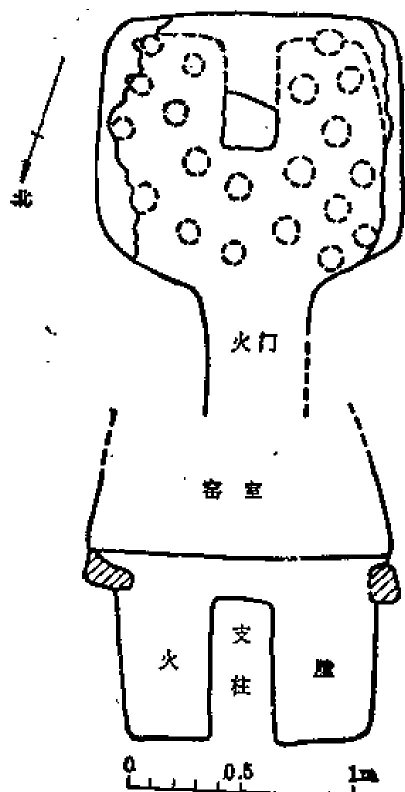


图 4-4　河南郑州洛达庙商代早期窑

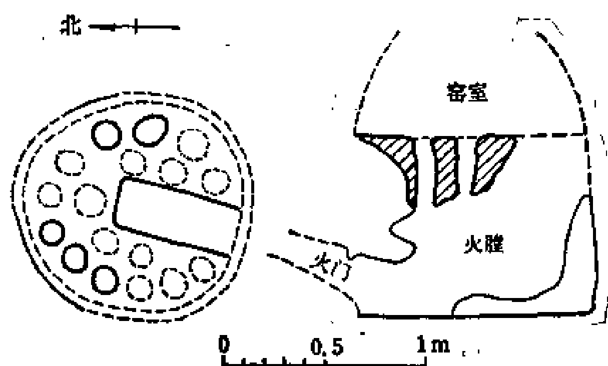


图 4-5　河南郑州铭功路商代中期窑

商代晚期的窑的发掘较多，如郑州旭旮王烧陶的窑[7]，与中期的窑相比，窑室底部直径更大，约 1.8 m，火膛亦增高约 1.1 m，直径 1.7 m。又如河南安阳殷墟发掘出来的一座陶窑（图 4-6），在结构上除加大窑室和提高火膛外，最重要的是在窑室下面火膛中间的支柱取消

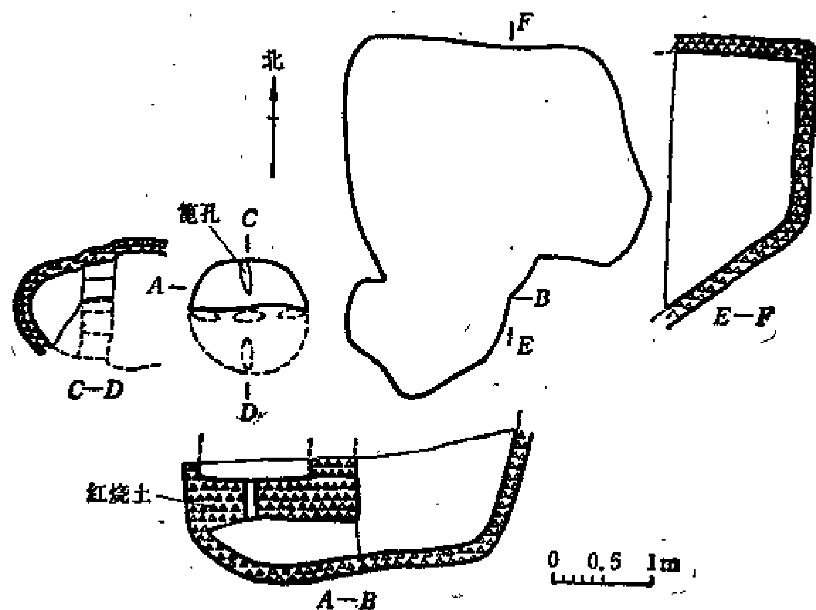


图 4-6　陕西长安洋东西周陶窑

了，这样一来，对于柴、草的充分燃烧以及提高窑内温度更加有利[8]。

总之，由于商代制陶工艺不断发展，窑炉结构继续改进，窑炉容积逐渐加大，烧成温度也随之提高，因而，陶器产品的质量和品种均相应地提高和增多，所以商代初期的陶器产品多为质地粗松的砂质红陶和棕陶，而到商代中晚期，以质地较细腻的、制作精致的泥质灰陶和夹砂灰陶居多，而且许多产品表面均有花纹装饰，此外在郑州二里岗的遗址中还发现有质地坚硬的釉陶。

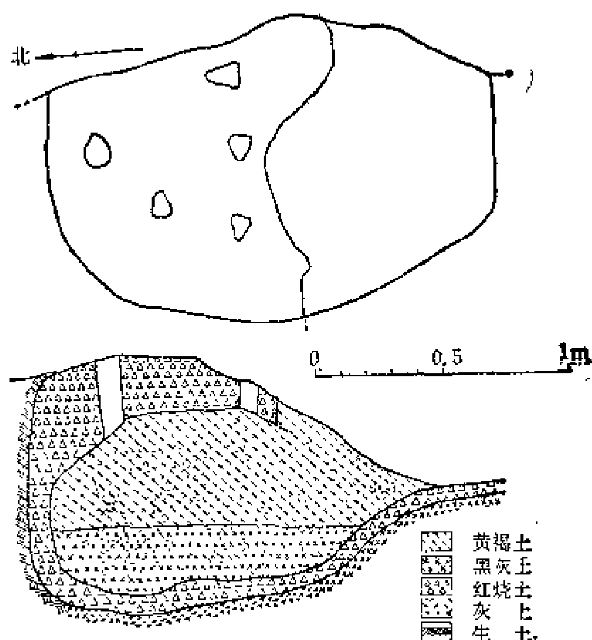


图4-7　安阳殷墟商代后期窑型

进入西周以后，在河南、陕西、湖北等地均有陶窑发现．在结构上的改进尤为显著。如在郑州董砦遗址中发掘的一座西周时期的陶窑，除了窑室容积和火膛较大外，其他结构部分与商代后期的馒头窑型相似。另在陕西长安沣东发掘的西周陶窑（图4-6），其结构与安阳殷墟发掘的商代后期没有支柱的窑型（图4-7）类似，所不同者为有烟囱建于窑顶中部[9]。

此外，在西周时期发掘的陶窑还很多，如长安沣西客省庄窑和张家坡窑[10]，其特点是在窑底都设有若干烟道使烟气再汇入主烟道内，最后烟气再由烟囱排出，尤其是张家坡窑，在残窑上还摆留着残高0.9m的一截，肯定在窑后没有烟囱。窑上烟囱的出现，在窑炉结构的改革上是重大创举，从热工学的观点而论，对于燃料的燃烧，空气的调节，火焰流动的速度，窑室内温度和火焰性质的控制，都会得到良好的改善。张家坡遗址中出土的釉陶测定的烧成温度近1200℃，坯体已基本致密、坚硬，接近瓷器的特征。由此也可说明，西周时期我国陶器质量的改进与提高烧成温度是密切联系的。

综上所述，我国陶窑自西周开始在北方黄河流域已基本形成了附有烟囱的馒头窑型的结构。西周以后，春秋时期由于陶业继续扩大，促进了陶窑的改进，在山西、河南、河北等地均有陶窑发现，特别要提及的是在山西侯马牛村古城东南一带遗址所发现的窑炉[11]，其特点之一是陶器可在陶制的炉条上烧成，二是在火门相对的后方有一个直径8cm的烟囱。烟囱由窑顶移至窑身后是烧陶窑炉的重大改进[12]，对以后完善馒头窑的结构起重要作用。山西侯马东周釉陶的气孔只有0.14%，烧成温度为1230±20℃[13]，可以推知，窑的改进对提高烧成温度和釉陶质量是有显著效果的。

三、战国秦汉时期的窑炉结构和特点（公元前475～公元220年）

战国时期，随着社会的发展，已由奴隶社会进入了封建社会，工商业比较发达，陶瓷生产更加集中和专业化，如河南洛阳周王城的西北部，河北的易县燕下都和河北武安午汲故城以及山西侯马等都是北方集中生产陶瓷的地区。在江南，如浙江肖山县进化区和绍兴县的富盛两地都是陶瓷生产集中的产区。此外，湖北江陵县毛家山已发现战国时期的陶窑，可知

战国时期生产陶瓷器的地区相当普遍。由于我国南北自然地理条件的不同，窑炉的构造也因之有极明显的差别。根据近年来窑址发掘的资料，在我国北方黄河流域发现的窑，其窑的型制结构基本上属馒头窑，战国时期河北武安午汲窑[14]如图4-8所示。窑床上的火道，前通火膛(燃烧室)，后通烟囱。从现代的观点来论，虽然这种设想对提高窑内温度有较好作用，但对解决窑炉各部位温度均匀问题还不是理想的技术措施。在我国中部地区，湖北江陵毛家山战国时期的陶窑结构[15](图4-9)，整体似腰鼓形，窑室似椭圆形、烟囱移在窑墙后面，具体窑型结构与北方的武安午汲战国陶窑以及江南普遍使用的龙窑相比还是有一定的区别。

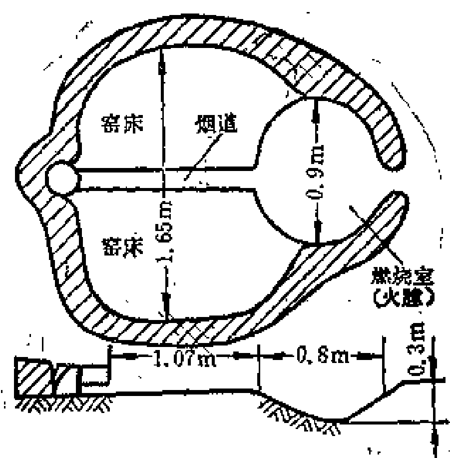


图4-8 战国河北武安午汲窑

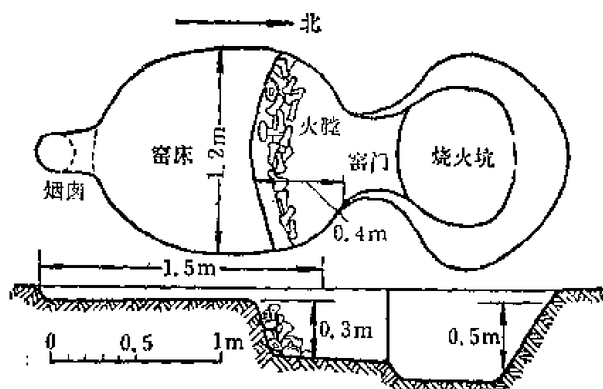


图4-9 战国湖北江陵毛家山陶窑

自商代至战国一千多年间，由于窑炉和烧成技术的改进，除大量生产日用的红陶、灰陶、黑陶等品种外，还生产出了印纹硬陶和致密釉陶。这一时期的窑型结构上，南、北方已有明显的分界，区别在于北方为馒头型圆形窑，南方为斜坡式的龙窑。根据现有资料介绍[16~18]，自战国开始，我国南方如浙江的肖山、绍兴，广东的增城西爪岭、湖南等地，都普遍采用龙窑烧制陶瓷，绍兴县文物管理委员会在绍兴富盛县竹园发掘的一座龙窑如图4-10所示。其构造"为长条形倾斜建筑，斜度16°。窑头已遭破坏，仅存窑床和出烟孔两部份，估计全长不超过6 m，窑床内宽2.42 m，上铺砂粒一层，窑墙自底起即已开始砌拱顶，窑室宽而不高，窑室后为排烟坑，结构比较简单。从这条窑的结构分析，它还是一条比较原始的龙窑，上下温差较大；底部多为生烧的胎质疏松的残片，上部多为致密坚硬的器物。

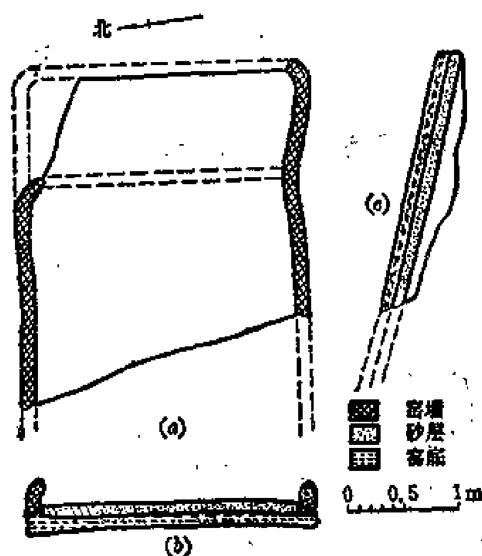


图4-10 浙江绍兴兴富盛长竹园龙窑

秦、汉时期，北方各地仍继续沿用圆形馒头窑烧造陶瓷，陕西咸阳滩毛村已发掘的秦代陶窑[19]如图4-11所示。与战国时期的陶窑相比，窑室显著增大，约比武安午汲窑大3倍，燃烧室(火膛)深度约增加1倍，烟囱截面积也相应地加大，特别是窑床前高后低(约7°坡度)，是一项创造性的改革。尽管窑本身结构上有一定的缺点，但总的说来，这一时期圆形馒头窑的结构也还是在继续改进中。

到了汉代，随着陶瓷业的日益发展，北方地区圆形馒头窑的结构继续有所改进。根据汉代窑址发掘的资料[20~22]，主要是由一个烟囱改为二个或三个，而排烟口仍为一个。使烟从两侧的火道汇集在中间的火道以后再排出窑外，如图4-12所示，这样就可以改进窑内温度不均的现象。又如午汲东汉窑烟囱的设计（图4-13）[23]，是在窑墙后用砖坯围成一个半圆弧形，在窑床后墙下设有三个进烟孔汇通于弧形集烟室内，经窑上烟囱排出窑外。从图中可以看出，汉代在烟囱的设施上确实下了很多功夫，因而也可以说到汉代为止，我国北方使用的圆形馒头窑已基本达到了比较完善的地步。

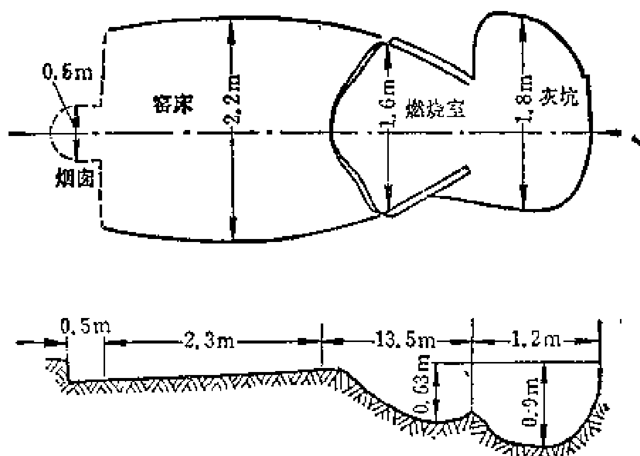


图4-11 陕西咸阳滩毛村秦代陶窑

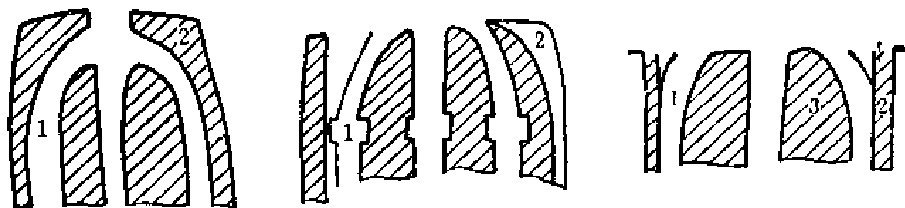


图 4-12

汉代，随着社会经济的发展，南方陶瓷亦日趋发达，浙江和苏南一带尤为集中，所用窑炉在战国龙窑的基础上继续改进。近年来浙江省和上虞县文管部门在上虞联江公社红光大队帐子山发现了两座东汉龙窑，虽然前段均已破坏，但从现存的遗迹中还可以观察到它的全貌[24]。其中一号窑（图4-14）残长3.9 m，估计全长为10 m左右。窑床残长部分为2.98 m，底宽1.97～2.08 m，窑底的倾斜度前段为28°，后段为21°，两段交界处有明显的转折线。窑顶原为粘土块砌筑的弧形顶，惜已全部塌入窑底，估计拱顶至窑底的垂直高度约为1.1 m。窑室后部有一堵墙，墙的下部筑有烟火道，墙后有排烟坑，与窑室等宽，长约60～70 cm，平面作横向长方形。该窑与战国时期绍兴富盛长竹园龙窑相比，其主要区别是窑身长度增长约4 m，窑身的倾斜度增大了5～12°。这样不仅加大了窑的容积，燃料比较节省，同时因窑的倾斜度增大，窑内抽风力也大，烧成时间短。值得注意的是，当时窑工们为了避免抽力过大，烧成时间过短，影响产品质量，特在两段交界处将倾斜度减小，以降低窑内抽力，减少大量冷空气进入窑内，但总的来说平均坡度还是过大，火焰在窑内仍不易存留，有温度不易控制的缺点[25]。

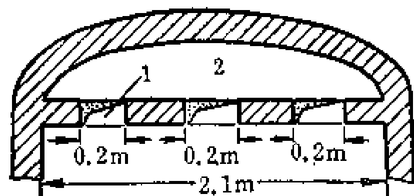


图 4-13

四、三国、两晋、南北朝时期的瓷窑和烧成技术的进步（公元220～589年）

自东汉以后，三国、两晋、南北朝时期，由于战乱迭起，全国南北处于分裂割据的相互对

峙局面。江南广大地区因战乱较少，社会秩序比较安定，故中原地区广大人民纷纷大批南下，为了繁荣经济和生活的需要，农业、手工业和陶瓷业相继发展。北方地区的陶瓷业则处于萧条境地，远不如汉代发达，大都生产些质量差、火度低的粗陶器和铅釉陶，对于窑炉的改进则更少，仍是沿用东汉时期的圆形馒头窑。相反，南方的陶瓷业则日益发展，对龙窑结构有较多改进，浙江省文管会和上虞县文化馆在上虞小仙坛发掘的三国时期的龙窑如图 4-15 所示。窑身全长为 13.32 m，宽 2.1～2.4 m，由火膛、窑床和烟道三部分组成。火膛系半圆形，长 80c m 左右，炉坑比窑床面约低 42cm，火膛与窑床之间有一垂直的粘土墙，厚为 11 cm，窑床长 10.29 m，其中前段较宽，后段渐渐缩小。倾斜度前段为 13°，后段为 23°，底面铺有砂层，两边窑墙用粘土筑成，高 30～37 cm，窑顶为半圆形拱顶，用粘土砖坯砌成。窑床与烟道之间有一堵粘土矮墙，高仅 10 cm。此窑的前后段倾斜度又和战国、东汉时期的龙窑相反，后段的倾斜度都比前段的大，所以烧窑时抽力大，火焰流速快，只有靠筑此墙以增加窑内阻力，减少抽力，因而此墙又称“挡火墙”。后面靠近窑尾处有五个高约 15 cm 的粘土柱，柱间有 6 个排烟孔，这样的设置显然是调节窑内抽力和温度之用。由这座龙窑的结构分析[36]，与东汉

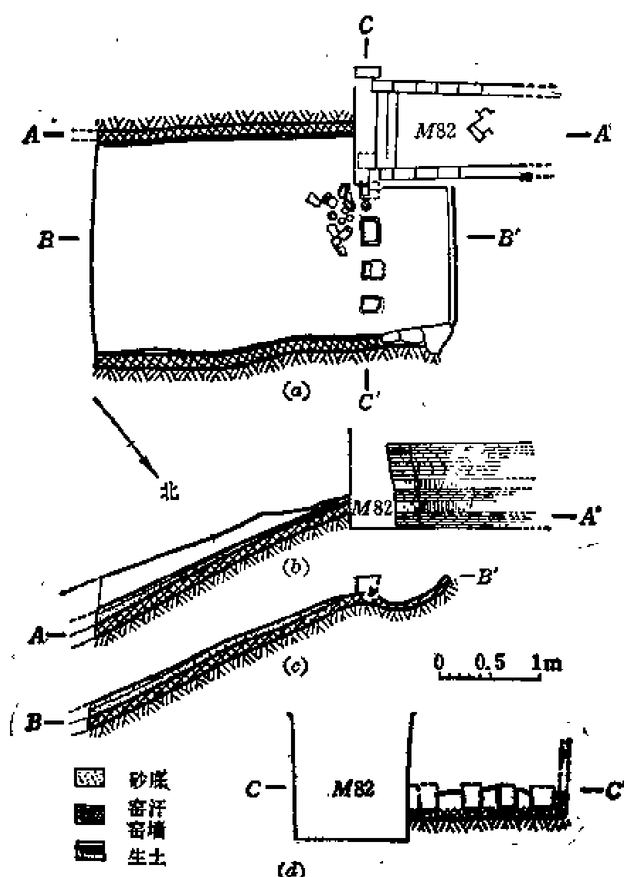


图 4-14　东汉龙窑

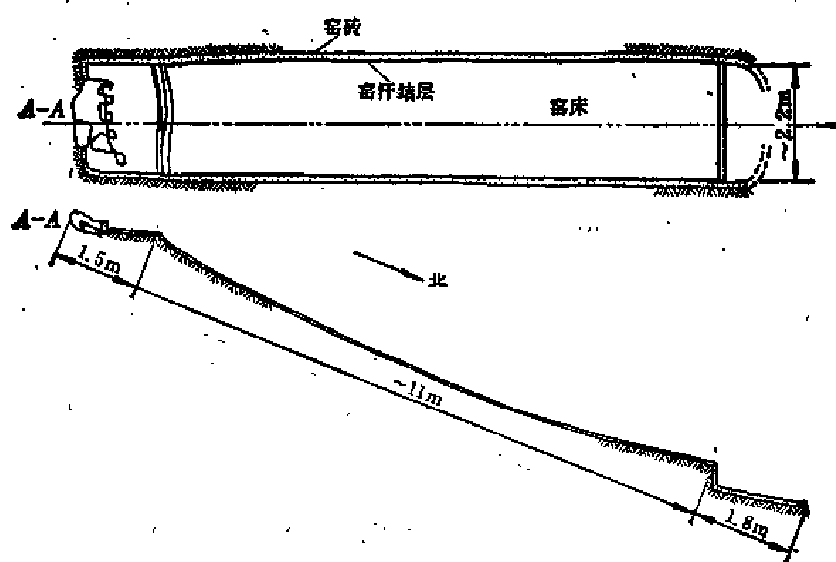


图　4-15

时期的龙窑相比，其窑身加长，窑的装烧量增加。窑身前宽后窄，有利于陶瓷烧成。缺点是窑身的倾斜度前段平缓，中段下凹，后段突陡，对烧成不利。因窑身短，前段坡度又小，抽力不强，温度不易上升；后段由于坡度过陡，抽力大，火焰流速过快，窑内后部负压过大，不利于升温和保温，故只好用挡火墙和排烟孔来调节，由此可以看出，这一时期的龙窑结构还在探索和改进中。

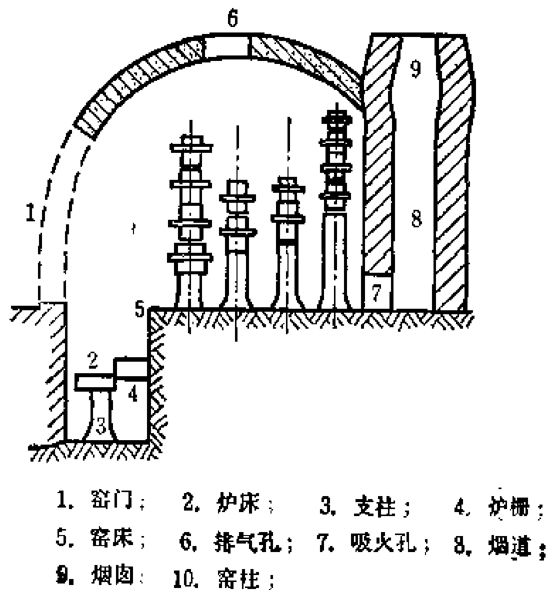
从上虞帐子山三国、晋代瓷窑遗址的瓷器残片分析，前者还原比值为0.8，显气孔率为1.05%，吸水率为0.45%；后者还原比值为0.77，显气孔率为1.06%，吸水率为0.5%，说明都是在弱还原焰中烧成，烧结程度较好。又上虞西晋元康七年墓出土的越窑双系瓷罐，经测定其烧成温度已达1300℃左右，由此可以说明，三国、两晋时期的瓷器质量已基本上达到现代瓷的要求，也可证明自东汉后期到三国、两晋时期，已烧出致密程度上合乎瓷器质量水平的产品，无疑这与这一时期龙窑结构的改进和烧成技术的提高是分不开的。

五、隋、唐、宋时期的馒头窑和龙窑(公元581～1279年)

隋统一中国后，历时甚短，虽然由隋墓中出土了不少质量较好的白瓷，但迄今尚未发现隋窑遗址。到了唐代，由于政治、经济、文化的高度发达，陶瓷业在汉、晋制瓷基础上空前发展，南北名窑兴起，形成了南方以越窑青瓷为主，北方以邢窑白瓷为主的“南青北白”的局面。同时，封建统治者为了文化生活上的享受，又在河南、陕西一带大量生产灿烂夺目的三彩釉陶作为陪葬品。这一时期的窑炉基本上仍延续着北方用圆形馒头窑，南方用龙窑的两大结构类型。所不同者是各地根据制瓷工艺条件的不同，在窑的结构上都有新的改进和发展。

1．北方馒头窑

隋唐时期，在北方烧制陶瓷的窑炉虽然均属于馒头窑型，但窑的结构上有一定的改进。根据近年来在河南巩县白冶附近调查的资料[26]，同在一地就有三种结构形式的窑：(1)直焰馒头窑(图4-16)，(2)在窑底上设有台柱的直焰窑(图4-17)，(3)带有热底的原始倒焰窑(图4-18)。这三种类型的结构与现代北方使用的馒头窑极为接近，都由火膛(燃烧室)、窑室、排



1. 窑门； 2. 炉床； 3. 支柱； 4. 炉栅；
5. 窑床； 6. 排气孔； 7. 吸火孔； 8. 烟道；
9. 烟囱； 10. 窑柱；

图4-16 台柱式窑图

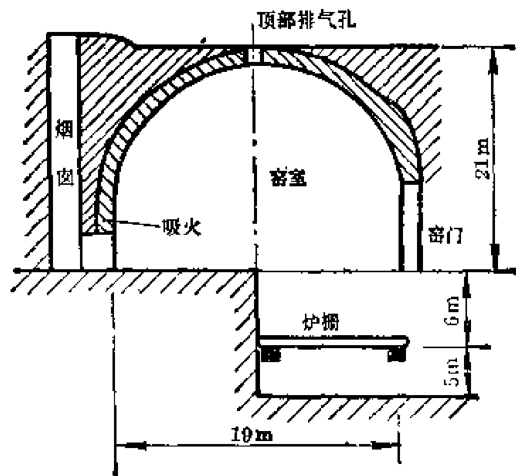


图 4 17

烟孔和烟囱四部分组成，火焰流向呈半倒焰式，都是靠排烟孔调节燃气的流量。最大的改进是由原来的冷底窑改为热底窑、窑内上下温差大大减小，窑内温度分布均匀。据调查，唐代烧唐三彩的窑与此相类似，迄今仍采用此种类型的窑烧唐三彩。

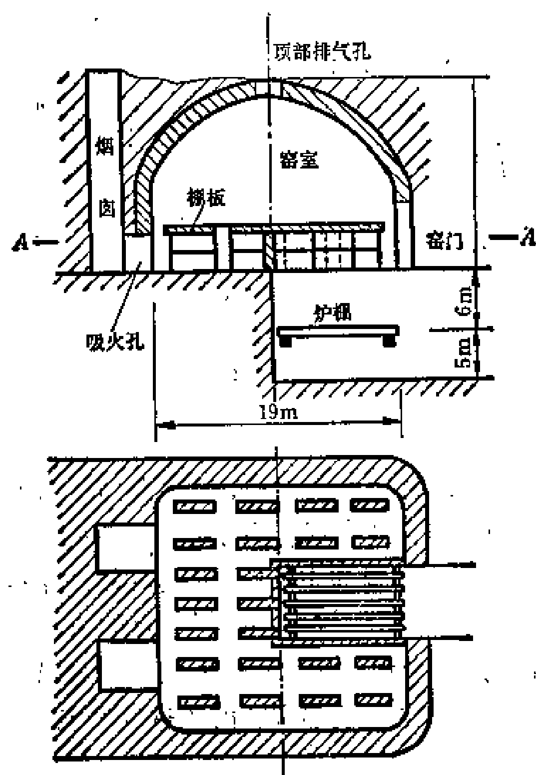


图 4-18

隋、唐时期的窑炉，北方除巩县窑外，已发掘的还有晚唐时期河南的鹤壁集窑[27]和河北曲阳涧磁村的定窑[28]等，如图4-19所示。窑的容积较小，窑床长约2.2m，宽2.6m，近于方形，窑室前高后低、坡度约为10°，火膛竟达1.6m深，烟囱甚宽大。据晚唐定窑残片鉴定结果[29]，烧成温度可高达1300±20°C，系采用还原焰烧成。

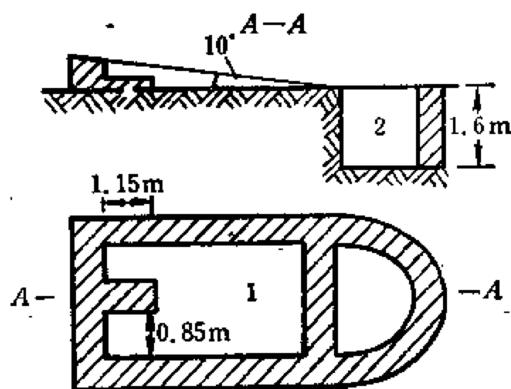


图 4-19
1. 窑室; 2. 火膛

由于定窑产品质量高，受它影响地区甚多，如辽宁赤峰缸瓦窑屯的辽代仿定瓷窑[30]（图4-20），两个烟囱分设在后窑墙的两侧，容积较大，与定窑结构基本相似。其他如抚顺大官

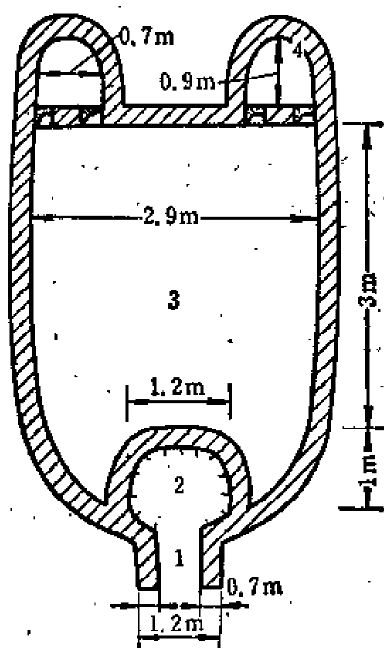


图 4-20

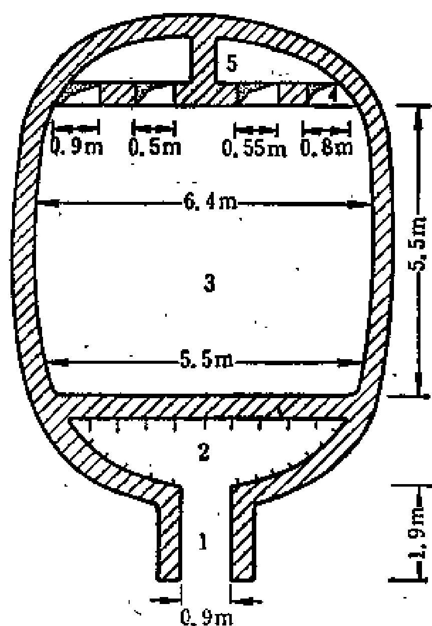


图 4-21

屯窑(图 4-21)，与定窑更相似，容积约为定窑的 6 倍，烧成温度约为 1230°C。

宋代结束了五代十国的分裂割据局面，由于社会安定，有利于发展生产，所以陶瓷业突飞猛进，是我国陶瓷鼎盛时代，名窑迭起，各具特色，将我国陶瓷业的生产推向新的高峰。瓷器质量的提高与窑炉和烧成技术的改善和熟练掌握是有密切关系的。北方仍在沿用馒头窑的基础上进行了大量改进工作，据已有的发掘资料可见，陕西的耀州窑[31](图 4-22)，河南的临汝严家店窑[32](图 4-23)以及河南禹县的钧台和八卦洞窑[33](图 4-24、图 4-25)等等，都

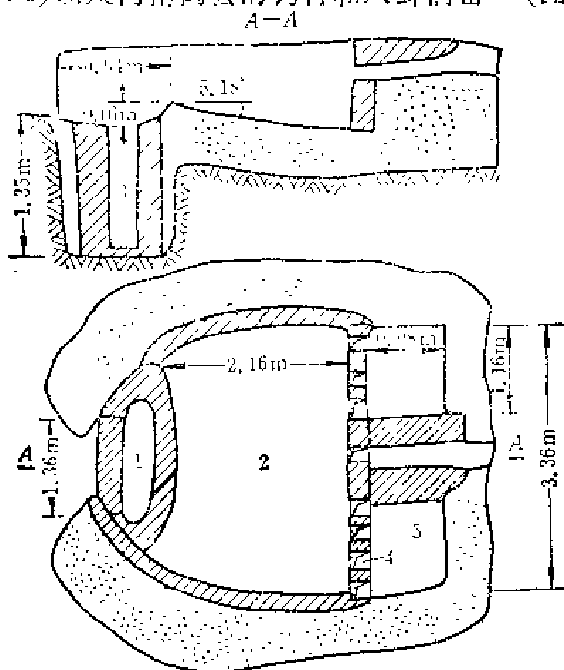


图 4-22 宋代耀州窑

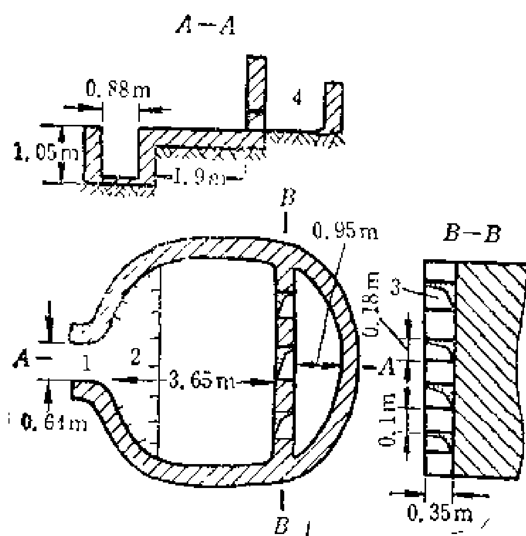


图 4-23 宋临汝严家店窑

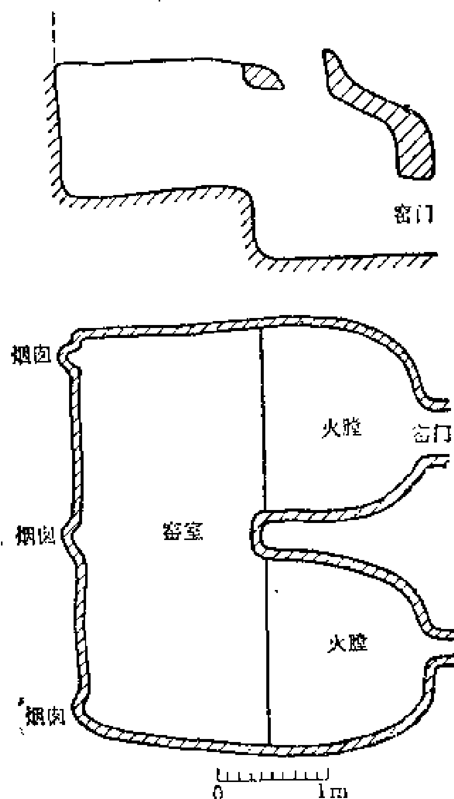


图 4-24 宋钧台窑

是在馒头窑的基础上进行改革成的。

从上述各窑型结构来看，除钧台窑为双火膛外，其他三种窑型仍比较近似于馒头窑型，其排烟孔与烟囱部分的设置稍有区别，窑室容积也都大致相近。耀州窑、临汝窑基本用还原焰烧成，所产青瓷大部分呈青色，部分呈黄色，这与窑位气氛分布不匀有关。以 Cu^+ 离子着色的钧红釉表明钧窑亦烧还原焰。各窑烧成温度有差别，耀州窑为 1280～1310°C[34]，临汝严和店窑约为 1270°C[35]，钧窑的烧成温度约为 1250°C[36]。这三种窑的燃烧室(火膛)的深度也不相同，耀州窑的火膛深度为 1.35 m，临汝严和店窑为 1.05 m，禹县八卦洞窑为 0.8 m。由此可以很明显地看出，炉坑深度越低，通风越差，燃料的燃烧强度就越小，窑内温度不易升高。钧窑烧成温度较低，估计与炉坑较低有一定的关系。根据有关资料报道，宋代已以煤为燃料，其所以能采用还原焰烧出质量甚高的产品，从当时的窑炉结构来看，一般窑室较小，火膛较深，炉栅面积较大，这使燃料层厚时还能够充分燃烧，窑和烟囱抽力较小时容易造成正压，室内火焰易产生还原气氛，有利于过渡元素的低价离子着色，故宋代名窑的颜色釉又称“还原釉”。从古代样品的分析判明，宋代定窑烧氧化焰，这是由于在窑炉结构上，烧窑方法上或燃烧技术上有较大的改善，有利于氧化烧成所致。从大量名瓷的出现可以说明，我国宋代在陶瓷窑炉结构的改进和烧成技术的熟练掌握上已经达到非常成熟的阶段。

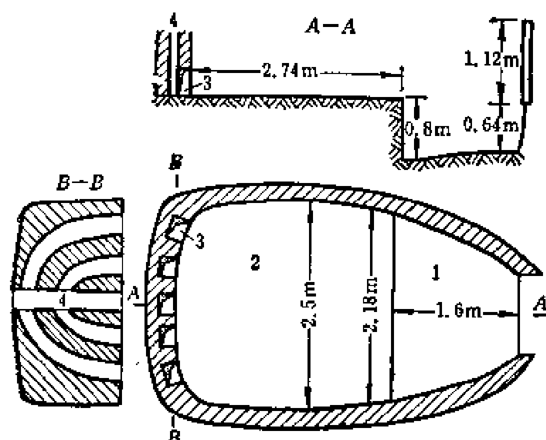


图 4-25　宋禹县八卦洞窑

2．南方的龙窑

自战国出现龙窑以后，我国南方的陶瓷生产一直到目前还有不少地区广泛地采用龙窑烧成。龙窑之所以有较长的生命力，其特点是可以依山建筑，靠窑的坡度形成窑内自然抽力，不需较高的烟囱，窑内气流和温度则可自然上升，又可利用烟气预热坯体，节约燃料。龙窑升温快，冷却也快，可以缩短烧成周期，增加产量，且建造费用低廉；以柴作燃料，火焰长，灰分熔点高，渣不结块，柴源供应方便，适合高质量瓷器烧成工艺要求。

随着瓷业的发展和窑工的不断改革，到宋代，对战国、东汉时期的龙窑在长度和窑身的坡度等方面存有的一些缺点已作了改进，南朝时期*，为了增加产量，节省燃料，充分利用空气预热，采取了加长窑身和减小窑床的倾斜度，以满足生产需要的措施，使龙窑的结构更趋合理。如浙江丽水吕步坑发掘的龙窑[37]，窑身残长 39.85 m，宽 1.7 m，倾斜度 10～12°。宋代龙窑窑身的长度和倾斜度不仅合理，而且基本上已达到完善阶段，如 1960 年浙江文管会在龙泉金村、大窑两地发掘的北宋龙窑[38]，窑长 30 m，窑宽为 1.85～2.0 m，全窑倾斜度为17°。到了南宋，龙泉已成为国内重要窑场，窑的结构与烧成技术更臻成熟，据大窑发掘的南宋龙窑，窑身长度达 46.5 m，窑宽为 2.5 m；另在龙泉金村发掘的两条龙窑[39]，其中一窑残长 50.36 m，宽 2.25～2.80 m，头尾高差 13 m，倾斜度中前段为 13°，后段较徒，斜度为 18°。窑壁残高 0.45 m，用长方砖砌成，窑的后部下端有 8 个出烟孔，孔高 0.26～0.28 m，宽 0.13～0.16 m，壁外有半圆形土穴，以排泄烟气，穴高 1.75 m，最大直径 0.65 m。南宋时期

* 《中国陶瓷史》中，第 154 页上认为是唐初。

的龙窑不仅窑长增长，坡度减小，从龙泉青瓷质量之高，可说明其结构对烧成温度和气氛的控制已达成熟阶段。

六、元、明、清时期的瓷窑及其特征（公元 1271～1911 年）

自南宋以后，北方瓷业由于战乱影响，大都趋于衰落，各重点瓷区除承袭前人用的馒头窑烧成外，并无大的改进；相反，南方的瓷业则日益发达，如江西、福建、广东、湖南等省的瓷业均生产兴旺，特别是江西的景德镇和福建德化，都成为重要的瓷器产区。自元代开始，已着手对窑炉改进，据 1976 年福建德化古瓷窑址考古发掘队在德化屈斗宫窑址发掘的简报中所载，这条龙窑应该称之分室龙窑[40]，其结构是：窑基依山而建，倾斜度在 12～22° 之间，水平高度 14.4 m，全长 57.10 m，宽 2.4～2.95 m，窑室共 17 间，火膛呈半圆形，宽 1.65 m，深 0.50 m，火膛与窑床交界处残留 5 个通火孔，孔宽 0.12～0.77 m，窑室与室之间有隔墙和通火孔，每堵墙有通火孔 5～8 个，长约 0.20～0.22 m，宽约 0.08～0.19 m，高 0.26 m，每一窑室前端一边均开有窑门，宽 0.4～0.8 m，残高 0.10～0.55 m，这种分室龙窑无疑是阶级窑的前身。关于德化窑的演变，据资料称[41]，宋代盖德碗坪崙窑是不分间的，窑身坡度较屈斗宫窑小，约 10° 左右。从热工观点分析，坡度越小，抽力也越小，火焰流速则缓，很容易在窑室内产生正压或微正压，窑内气氛为还原焰或弱还原焰，所以宋代德化碗坪崙窑的瓷质多呈白里泛青的影青瓷。自元代改进为分室龙窑后，窑内的火焰流向变为半倒焰，窑内的温度和压力易予控制；同时，当火焰由窑墙下的通火孔进入窑室后，窑内的压力也变成微正压，加上这种分室龙窑比较矮小，又称“鸡龙窑”，室内温度分布均匀，故瓷器多呈乳白色。到了明代，德化窑已由分室龙窑改为阶级窑，其窑型结构相同，所不同者是阶级窑比较高大，每间窑室容积也较大，故窑内气氛易呈氧化气氛，因之釉色呈独特的“猪油白”。近年来对历代德化白瓷研究表明，宋代为还原焰烧成，元代为弱还原焰和氧化焰兼烧，明代为氧化焰烧成[42]。

明代的阶级窑（又称串窑）是由分室龙窑演变过来的，它的热工特性是结构简单，适合以柴作燃料，具有升温快，冷却快，能充分利用窑内余热，减少燃料消耗，烧成周期短等一系列的优越性。解放初期，福建德化和湖南醴陵、四川等地区瓷业也用阶级窑烧制日用陶瓷和电瓷，它的结构也是依山而建，窑室一般 5～8 间，长约 18～28 m，8 间窑室容积约 200 m^3，窑身倾斜角为 17～20°，自 1957 年后，由于柴源缺乏和不利于大规模连续生产，故逐渐被淘汰了。

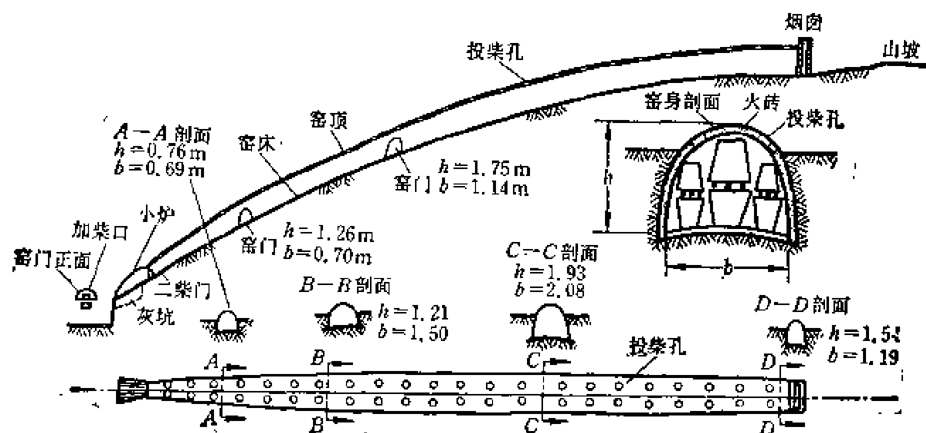


图 4-26

现代龙窑的结构一般与地平线的倾斜角为12～20°，窑的容积为50～150 m^3，窑长20～40 m，个别长的达80～100 m，内宽1.5～2.5 m，内高1.6～2.0 m，窑背每隔1 m左右开一排投柴孔，窑底每隔1.5～2.0处挖一沟[43]，如图4-26所示。烧成时，窑内制品不动，火焰自下而上移动，其热工特性除上述的种种优点外，另一特点是窑内有适当的压力分布，由于窑的前段倾斜度较大，后段较小，不需要烟囱，窑本身就起着烟囱的作用，因而可使全窑有1/3的长度(中间部分)维持零压，窑头冷却带负压较小，窑尾(约等于全窑的1/3长)维持较小的正压，故全窑能自然维持在近于零压下，其压力分布情况如表4-1所列。

表 4-1　龙窑各处压力分布表

燃烧情况	项目				
	负压段长 m	负压大小 1.33×10^2Pa	零压段长 m	正压段长 m	正压大小 1.33×10^2Pa
窑头预热 8 h	10	−4～0	16	14	+2
窑头封闭开始，燃烧 8h	16	−4～0	10	14	+2
距窑头 16 m 处烧煤气	16	−4～0	10	14	+2

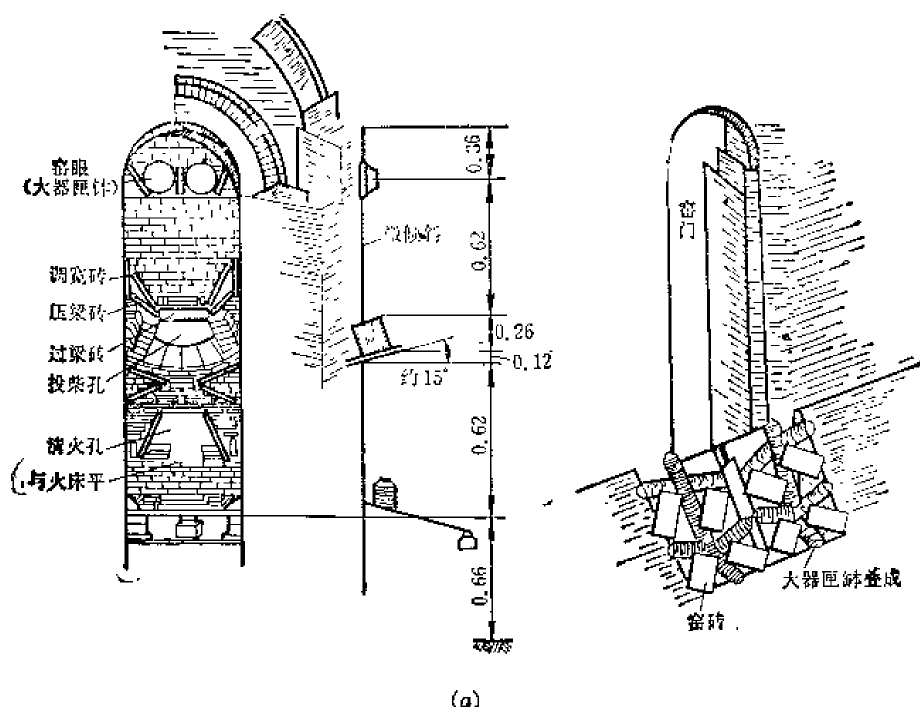
七、景德镇窑

景德镇窑是自宋室南迁以后，随着景德镇瓷业不断发展而逐渐形成的，在我国陶瓷窑炉发展过程中占有极重要的地位，特别在明、清时期，景德镇不仅是国内外著名瓷区，而且产品质量之高，生产规模之大，制作之精，品种之多，达到了极高的水平，在国际上产生了极为深远的影响。制作工艺过程中，窑炉结构和烧成技术是影响最大的关键技术。

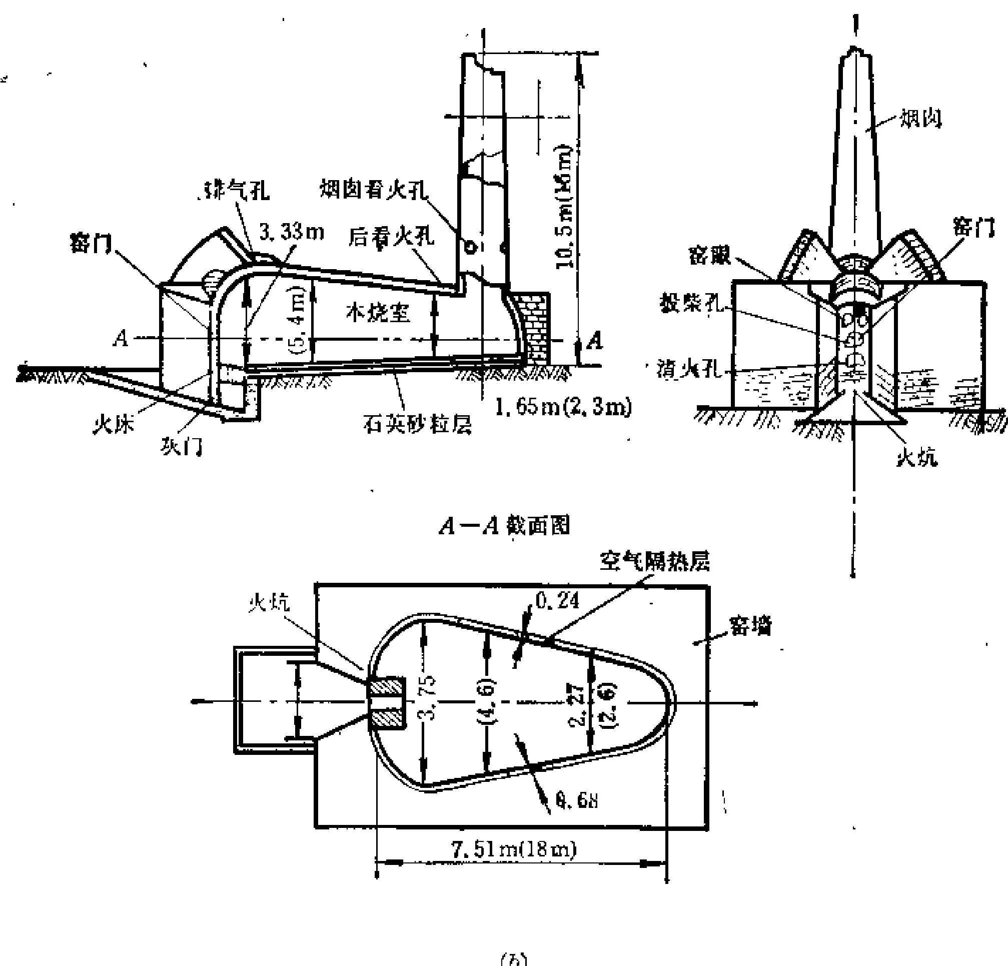
景德镇窑的发展过程，很可能是在龙窑的基础上先形成元末明初时期的葫芦形窑[44]，然后逐渐形成小型蛋形窑[45]，清末至今，随着瓷器产量的不断扩大，已由原来小型的蛋形窑改为至今仍继续采用的大型蛋形窑。柴窑的主要部位尺寸如图4-27所示。

蛋形窑的结构是窑前部高而宽，后部低而窄，全窑长18～20 m，窑前高度约5.4 m，窑尾约2.3 m，窑底倾斜度为3°，全窑容积约150～200 m^3。紧接窑尾末端设有一与窑长相等的烟囱，高约16～18 m，窑墙和窑顶厚度约0.20～0.25 m，窑身两侧用窑砖围砌成一护窑墙，与窑身之间留有0.2～0.3 m空隙，作为空气隔热层，以减少窑内热的损失。窑的前部有一个窑门，高约3 m，宽约0.6 m，进门处有一火坑，在火坑上部与窑底水平高度处，全部用烧过的旧匣钵和窑砖砌成火床(或炉栅)，长约1.2 m，宽约0.7～0.8 m，炉条之空间设有用窑砖砌的骑子(即斜放窑砖)。高温烧成时，烧窑工常常将斜放的骑子用铁钩钩下，以增加窑内的空气量，提高烧成温度。装窑完毕后，即将窑门用窑砖封闭，上部留一0.3×0.4 m的投柴孔，投柴孔上部用两只匣钵砌的窑眼，以作为观察前部火色、估计窑温之用。投柴孔下部留一发火孔(除渣孔)，另在窑顶靠近烟囱前设有看火孔，以配合观察窑内的瓷器成熟程度。烟囱的断面似半截蛋形，全部由窑砖砌成，壁厚约0.10～0.12 m，上口断面约为2 m^2，烟囱断面的高尖处一般都朝向窑身的方向，现就其热工技术特点简述如下：

(1) 从我国陶瓷窑炉发展过程而论，景德镇的蛋形窑采用一般耐火度极低的粘土砖(耐火度为1300℃)和砌窑灰缝泥浆作为砌筑材料，造价低廉，施工方便。所使用的窑砖的化学成分和泥浆的化学成分列于表4-2。惊人的是未使用耐火度高的耐火砖和耐火材料。窑砖



(a)



(b)

图 4-27 景德镇柴窑(小柴窑)(括弧内尺寸为大柴窑之尺寸)

表 4-2　窑砖和泥浆的化学成分(m%)

名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O+Na_2O
窑砖	66.28	17.83	6.85	0.76	0.44	1.88	2.96
泥浆	68.33	22.03	3.87	0.97	0.78	1.40	2.64

表 4-3　窑砖的物理性能

耐压强度 10^5 Pa	抗弯强度 10^5 Pa	体积密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	真密度 (g/cm^3)	透气率 ($kg\cdot/cm^2/mm$)
111.5	23.3	1.95	27.09	2.65	0.021

的物理性能如表 4-3 所列。

(2) 装窑容量大，适合于多种坯釉烧成。根据实际记载，窑室容积约 200 m^3，可装瓷器 20 t，匣钵柱约 40 余柱，随着窑内前后温度的不同，约 5 排一种配方，全窑共装约 24 个坯釉配方产品。窑室前部装高温坯釉产品，即精细白瓷(1300℃)；中间部位烧中温坯釉瓷器，即普通白瓷，温度为 1250℃ 上下；窑的后部装低温坯釉粗瓷(或称灰可器)，温度为 1200℃ 上下。此外，在窑内还装有高、中、低温颜色釉，在烟囱底部装匣钵处温度为 950～1000℃，常装低温釉瓷，如法华釉产品。窑内各部位装窑产品的利用率很高，如无高超和熟练的烧成技术是难以办到的。

(3) 以柴作燃料，烧成时间短，烧成周期快，产品质量高，是蛋形窑最大的特点。全窑烧成时间共约 20～24 h，最高温度 1300℃，窑前部的 CO 含量为 5～8%，窑中部为 4～6%，窑的后部为 2～4%，最后部(在烟囱底部)为 1～2%，说明在烧成过程中全窑处于弱还原焰与重还原焰变化之中。窑内压力的分布情况为，窑前部自窑底 5 m 处至发(清)火孔的动压维持在 1.33×10^2 Pa 左右，窑中部自窑底 0.1 m 高至发(清)火孔 3.95 m 处的动压维持在零压左右，窑的底部(约 0.1 m 高)为 $0\sim(-4-6)\times133.2$ Pa。说明窑内大部分处在零压阶段，过量空气极少，这是景德镇陶工们为了用含铁量较高的原料制造具有独特风格的泛青白瓷，经历了多少代的实践和经验总结，才达到了如此高度的筑窑和烧成技术水平。

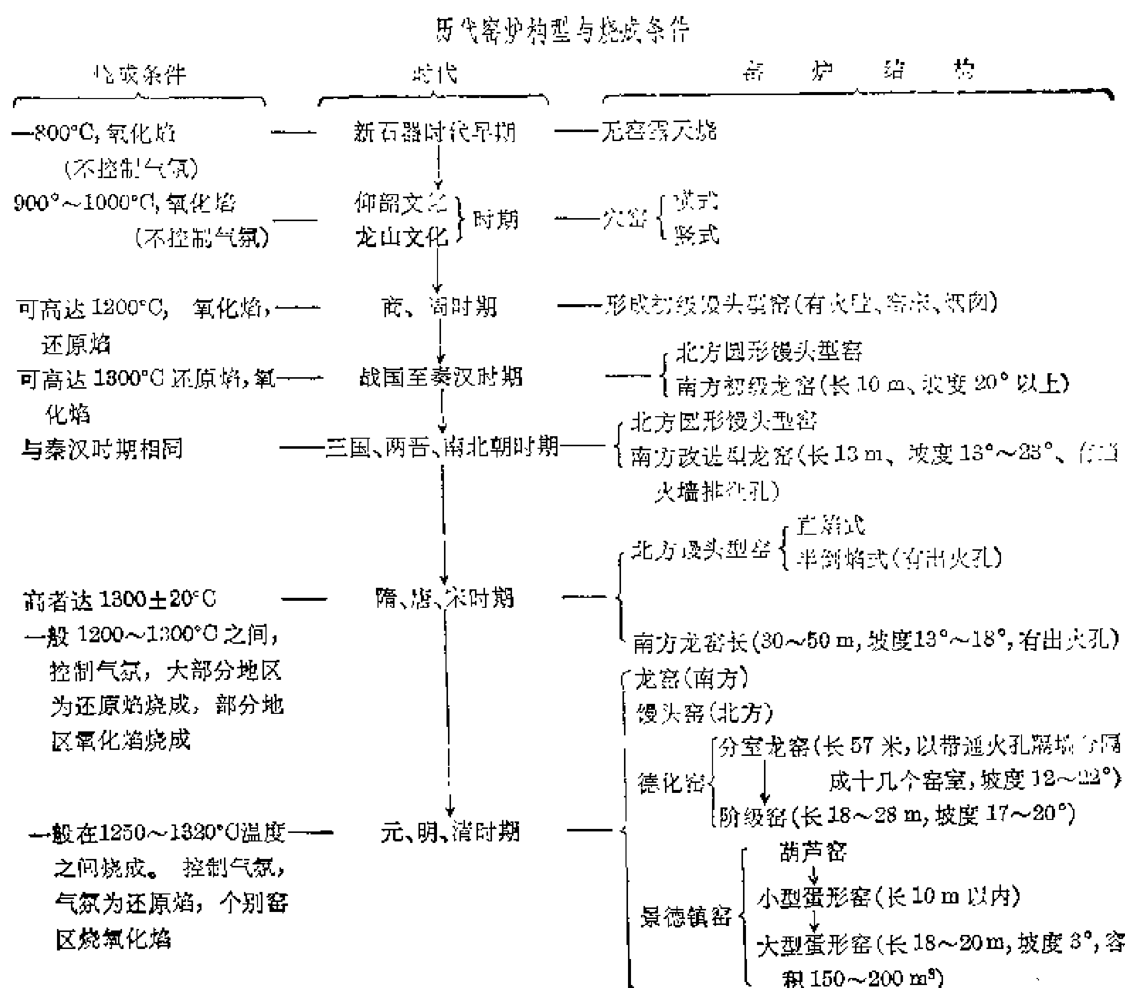
景德镇蛋形窑的炉栅强度与倒焰窑、阶级窑相比[26]如表 4-4 所列。由表中数据表明，景德镇窑的炉栅强度最小，热效率最高、燃料消耗量也最低。景德镇窑烧成时间短，单位耗柴量低，加上在一窑内装入多种瓷器品种同时烧成，确实是代表我国古代瓷器烧成水平的一项伟大创举。

表 4-4　炉栅强度表

窑　　别	项		目
	炉栅面积 (m^2)	窑室几何容积 (m^3)	$\frac{所负窑室容积}{炉栅容积}$ 比
倒焰窑	4～6	100～120	20～30
阶级窑	4～5.0	160～200	36～40
景德镇窑	0.90～0.95	180～200	190～200

我国陶瓷烧成技术和窑炉发展的过程相当长，随着地区和时代的变化，其改进也是多种

多样的，简要地概括起来可以归纳成下述图表作为总结。



八、瓷器装烧方法

瓷器的装烧包括装匣钵的工艺方法和匣钵装窑的方法，对瓷器的质量都有十分重要的影响。瓷器的装匣钵方法有多种。在最早烧制陶瓷器时，不使用匣钵，陶瓷器直接装入窑内，烧成时陶瓷直接与火焰接触。如此烧成的瓷器表面容易被沾污，质量较差。自从使用了匣钵以后，瓷器的质量有了保证，特别对白瓷烧成最为有利。以后又使用了内匣，火焰更不易直接接触瓷器表面。保证了气氛的纯正，瓷器质量有了显著提高。以下是几种典型的装烧方法：

(1) 支钉烧法　支钉法装烧是将瓷器，如碗盘之类器物，用耐火粘土搓捏成小泥钉状物支架起来，装入窑内烧成。有的采用迭烧的方法，即将相同类型和大小的器物隔以预制好的泥钉，迭成一柱放在垫柱上，待烧。这种装烧方法在五代的湖田窑已采用，如图4–28所示[46]。支钉的放置方法是，按碗、盘圈足的大小一周放9～12个，依次一件一件地重迭起来，组成一柱，装在窑中烧成。

垫柱的作用是，使制品在窑炉中处于一定高度的温度区，以利于瓷器的烧结。泥支钉用来隔离瓷器防止其相互粘结。这种方法又叫"重合迭烧"法。迭烧的目的是为了增加装窑的密度，以得到较多的产量。这种方法的缺点是与火焰直接接触，瓷器表面易被污染；支钉易粘于釉面，影响质量；由于瓷器在高温下的荷重有限，不能过多堆迭，因此产量不会很高，窑

窑空间尚不能有效地利用。

汝官窑、官窑和哥窑青瓷也采用支烧方法.所用支钉很小,叫"芝麻钉",烧成后的瓷器仅留下很小的支点痕迹,但并不采用堆迭的方式,而是一件一件分别装烧,从瓷器质量看,以装在匣钵内烧成较好。

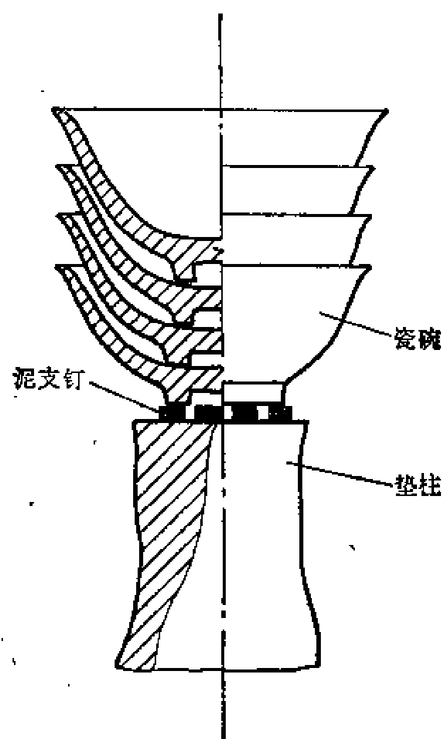


图4-28 支钉装烧法示意图

宋代以后各名窑都使用十分讲究的匣钵。有的在匣钵内采用支钉装烧的方法，龙泉窑就用此种方法装烧,如图4-29所示[47]。支钉的尺寸很小。使用匣钵可以避免由于堆迭过多引起荷重变形、防止气流中杂质污染表面以及增加装窑高度。由于窑底温度较低，不宜放置制品烧成，故最底部铺以空匣。一般都在窑外装匣,再将一柱一柱的匣钵搬进窑内排放,因此底部匣钵无法装烧瓷器。

(2) 仰烧法 仰烧法是将瓷器的碗、盘按正向放置于匣钵内，装窑后烧成的方法。有一件一个匣钵装的，也有十件左右装在一个匣钵内烧成的。它与支钉烧的区别在于不使用支钉隔离。仰烧的装匣方式如图4-30所示。其中,(*a*)为单件装匣;(*b*)为多件装匣。单件装匣最保证瓷器质量，釉面不受任何影响。多件装匣方式则需要将碗心与圈足相接触部分的釉层削去，避免粘结,但对美观有较大的影响,只能生产普通的大众用具。但该法装烧密度大，可降低瓷器成本。宋、元时期均有采用这类装匣烧成的方法。

(3) 覆烧法 覆烧法在宋代定窑使用最普遍，景德镇各窑也采用。它是将碗、盘之类的器物按反向扣置在各种式样的支圈和支垫内堆迭烧成。支圈和支垫起着内匣的作用，它多用瓷胎相近的泥浆烧制而成,这样可以达到与瓷器收缩一致,不使瓷器变形的好处。覆烧的示意图如图4-31所示。覆烧的优点是能最大限度地利用窑室空间，增加堆装密度，从而节约燃料，降低成本。使用支圈和支垫内匣后可减少变形量,增加与火焰的隔绝程度，提高瓷器质量，特别对烧制白釉之类的瓷器最为有利。缺点是碗、盘的口部边沿的釉要削去，烧成的瓷器口部无釉，形成所谓的"芒口"。定窑的名贵产品常以镶嵌金属作为保护和装饰，以弥补这一缺陷。我们在仿制古瓷时也曾采用过这样的装匣方法,如图4-32所示。在匣钵内先放一层煅烧过的稻壳,用木板压平整,再放一张黄表纸在上面,将瓷坯放在纸上,然后将一下部四周挖孔的内匣瓷圈扣罩瓷器,瓷圈上口盖一顶盖，顶盖也是瓷质的。这样既可防止与火焰直接接触，又可使气氛从孔中流过。克服了定窑那种覆烧的堆迭方式过于密闭,与外界气氛流通较差的情况。

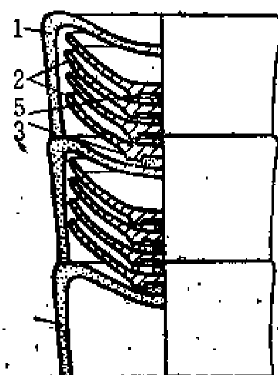


图4-29 龙泉窑的支钉迭烧法示意图
1. 匣钵 2. 瓷碗 3. 垫饼 4. 镶底匣钵 5. 支钉

匣钵装好后,各窑区装窑的情况也是不同的,但总的趋向是控制匣钵在窑内达到最大堆装密度，以能顺利上升到预定温度，从而最节约原料和时间。本文简要地叙述1957年作者

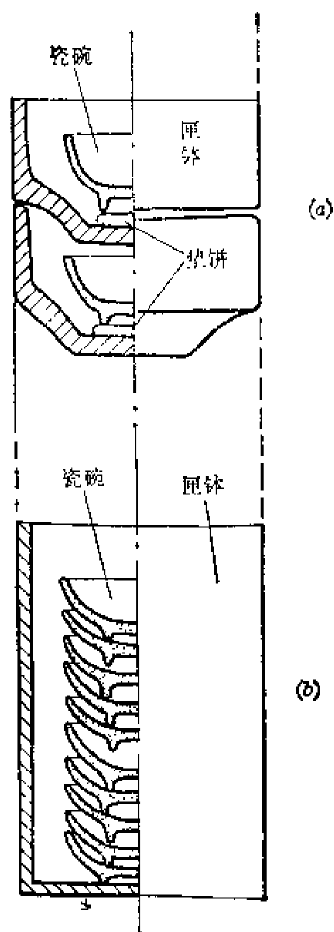


图4 30 仰烧法装匣钵示意图

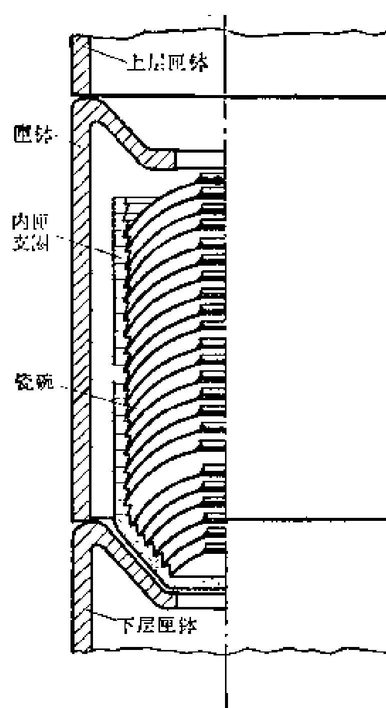


图4-31 覆烧法装匣钵示意图

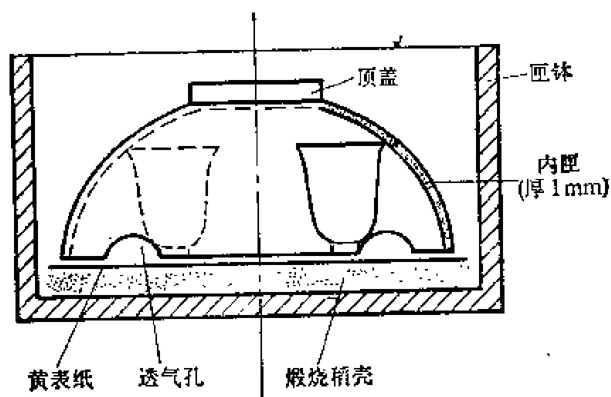


图4-32 景德镇仿古瓷曾采用的装匣示意图

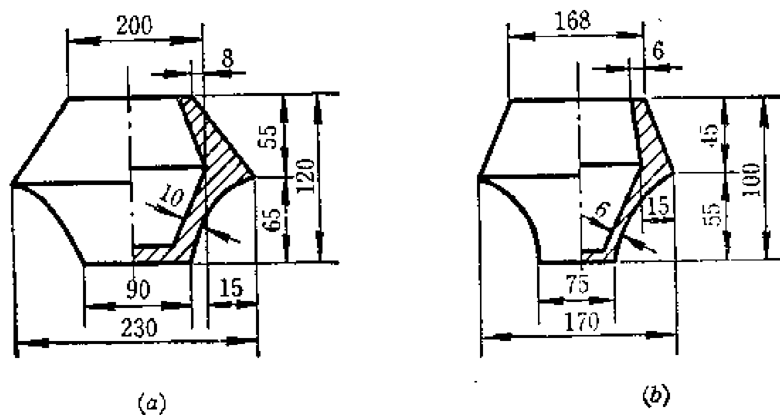


图4-33 大器匣钵尺寸和外形[2]

参加国家用瓷和礼品瓷试制任务，为提高瓷器质量所作的扩大试制工作，在景德镇仿制古瓷时装窑的实际记录情况。景德镇装窑叫"满窑"。窑为按明代规格建成的小型平焰式蛋形柴窑。可装匣钵50担左右（一担匣钵柱约3m高），窑室底长7.51m，最大宽度为3.75m，最大高度为3.33m，烟囱高为10.5m。匣钵分"大器匣钵"和"小器匣钵"两类。大器匣钵多用于装在挂窑口部位，即靠近烟筒的部位，还用作为建构火床。小器匣钵放在窑的前、中部的大部分窑位，是烧瓷器用的主要的容器。小器匣钵和大器匣钵的一般尺寸选几种典型尺寸示于图4-33和4-34中在图4-33中，(a)多用于满挂窑口处；(b)大器匣钵用于建构火床。装窑时，所用的小器匣钵尺寸应视装烧器物尺寸而定。若是瓷器尺寸小可以在一个匣钵内装几件。景德镇蛋形柴窑装窑的情况为：自挂窑口（烟囱附近）数，第一排称"一路"，第二排称"二路"，依次可装十几路并排的匣钵柱。窑内各路匣钵堆装方式示于图4-35中。由图可见，小形柴窑共装匣钵12排（路），各路中每柱匣钵在不同位置装满的松紧不一样，装法非常讲究，主要是控制和调节火焰通行的路径和快慢。匣钵柱间间距靠用匣钵碎片的片数多少夹填在相邻匣钵柱之间控制。有的地方需要"紧满"，则用1片匣钵片，有的地方需要松满则用3～4片叠起塞进两柱之间。这样还可起到使匣钵柱相互依靠支持的作用。一般，满窑的松、紧根据经验视天气和柴的干湿程度而定。天冷地下水气重，若天冷和柴湿，满窑时要前紧后松；若天热和柴干，则前松后紧。松的位置火焰运行较速，区域温度偏低；紧的位置火焰运行较慢，火焰停留的时间较长，区域温度较高。可见，古代流传下来的装窑经验是十分讲究和非常科学的。图4-35示出了各路装窑情况的切面示意图，借以可较全面地看出，景德镇柴窑装窑时仔细考虑了烧成的控制和合理利用窑位。不同窑位的温度和气氛通过装窑间接控制后，各窑位可装放不同要求的产品，如有的窑位适于烧铜红釉制品；而有的窑位就不能烧，否则就失败。可见景德镇的装窑和烧窑技术工人具有高超的

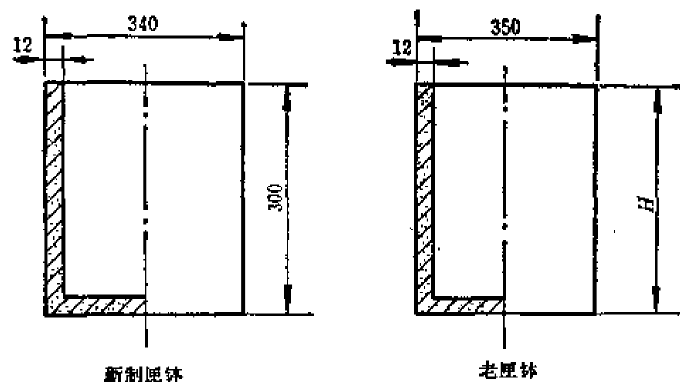


图4-34 小器匣钵尺寸和外形

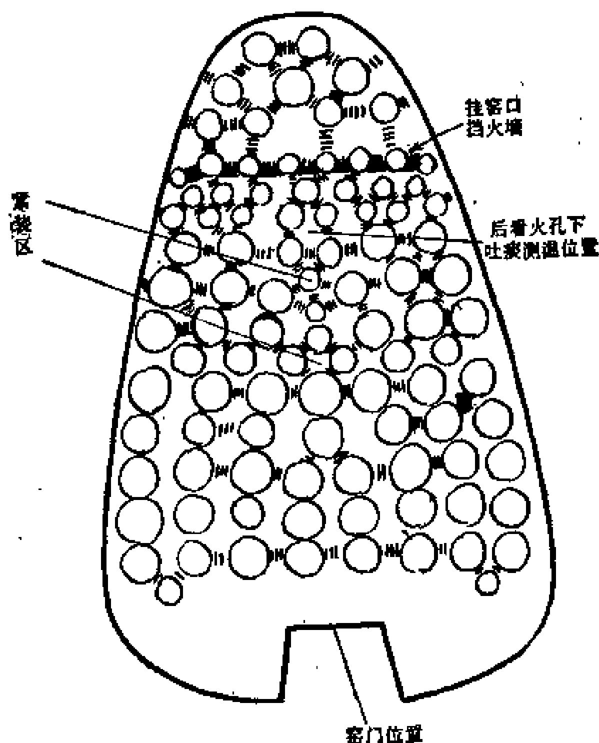


图4-35 小型柴窑装窑（满窑）分布平面图

装烧技艺。

图3-36从挂窑口开始一路一路示意地表示出装窑构造情况。挂窑口处用大器匣钵堆迭起来构成挡火墙，上部开始，各柱匣钵间自上至下的接连用匣钵片塞紧，再用黄泥涂粘，上、下匣钵片间稍留缝隙，在匣钵柱中间位置和底部留有适当大小的通风孔。挡火墙起着阻止火焰直接流到烟囱的作用，通风孔的大小控制窑内火焰的路径和流速大小。装二、三路用大器匣钵，各路间横向和纵向均用匣钵片沾以黄泥在一、二个位置塞紧，留出一定空隙。四、五、六路以大器匣钵和小器匣钵混用，中间用1～2柱大器匣钵。七路以后均用小器匣钵装窑。十一、十二路装2/3高度，上部空出。五、六路和、八、九、十路之间的中部位置有一"紧满"装窑区，匣钵柱之间的空隙仅留1cm多，最多到4cm。横向两旁空隙较大。十、十一和十二路各柱间横向留较大空隙，而纵向空隙十分小。这些都是为了使火焰流动合理而设计的装窑方式。上述仅介绍景德镇柴窑的装窑经验。其它各窑区不同形式的窑与景德镇蛋形柴窑的装满经验和方法也有类似。

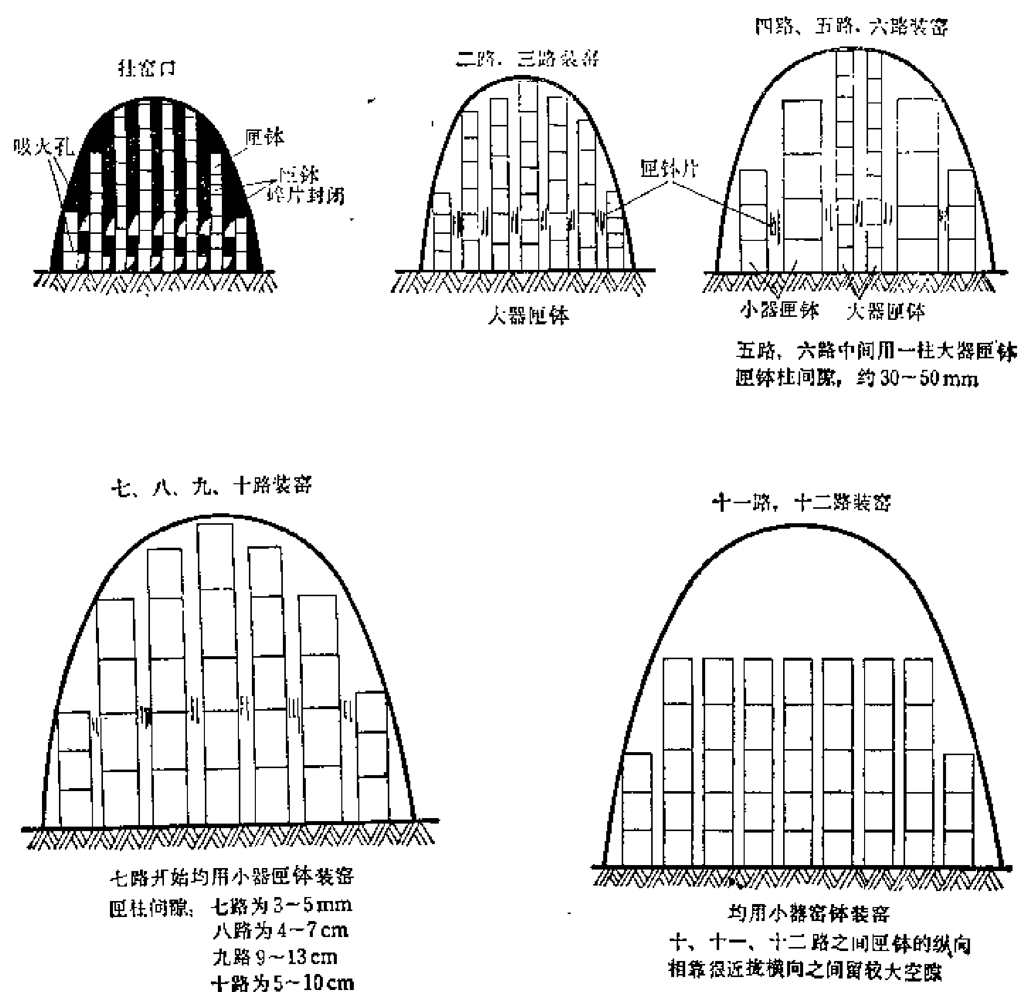


图4-36 装窑各路切面示意图

参考文献

[1] 程朱海、刘可栋、张福康、叶宏明，"云南省西双版纳傣族和西盟佤族原始制陶工艺考察报告"，《河北陶瓷》，[4]，42～51页，1982

[2] 中国硅酸盐学会主编，《中国陶瓷史》，63～66页，1982年文物出版社

[3] 周仁、张福康、郑永圃,"我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结",考古学报,1964年1期
[4] 刘可栋,"试论我国古代的馒头窑",《中国古陶瓷论文集》,178页,文物出版社
[5] 河南省文物工作队,"郑州洛达庙发现两座古代窑址",文物参考,1956年11期
[6] 河南省文物工作队,"郑州市铭功路西侧发现商代制陶工场房基等遗址",文物参考,1956年1期
[7] 中国硅酸盐学会主编,《中国陶瓷史》,67页,1982年,文物出版社
[8] 中国科学院考古研究所安阳发掘队,"安阳小屯南地发掘简报",考古,1975年1期
[9] 中国科学院考古研究所沣镐考古队,"1955～1957年陕西长安沣西发掘简报",考古学报,1979年1期
[10] 中国科学院考古研究所,"沣西发掘报告",文物出版社,1963年
[11] 山西省文管会侯马工作站,"侯马东周时期烧陶窑址发掘纪要",文物,1959年6期
[12] 中国硅酸盐学会主编,《中国陶瓷史》,72页,文物出版社,1982年
[13] 周仁、张福康、郑永圃,"我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结",考古学报,1964年1期
[14] 河北文管会,"河北武安午汲古城中的窑址"考古,1959年1期
[15] 纪南城文物考古工作队,"江陵毛家山发掘记",考古1977年3期
[16] 王士伦,"浙江肖山进化区古代窑址的发现",考古通讯,2期,1957年
[17] 绍兴县文物管理委员会,"浙江绍兴富盛战国窑址",考古,1959年7期
[18] 中国硅酸盐学会主编,中国陶瓷史,101页,文物出版社,1982年
[19] 陕西省博物馆勘查小组,"秦都咸阳故城遗址发现的窑址和铜器",考古,1974年1期
[20] 甘肃文管会,酒泉下河清汉代砖窑窑址试掘简报",文物参考,1958年12期
[21] 唐金裕,"西安北郊汉代砖瓦窑址",考古,1964 年4期
[22] 河南省博物馆,"河南省温县烘范窑发掘简报",文物,1976年9期
[23] 刘可栋,"试论我国古馒头窑",待发表稿
[24] 中国硅酸盐学会主编,中国陶瓷史,131页,文物出版社,1982年
[25] 刘振群,"窑炉的改进和古陶瓷发展的关系,",待发表稿
[26] 杨文宪、张祥生,"古代中国陶瓷窑炉初探",待发表稿
[27] 河北省文物工作队,"河北曲阳县涧磁村定窑遗址调查与试掘",考古,1965年8期
[28] 河南省文物工作队,"河南鹤壁集古代瓷窑址发掘简报",文物,1964年8期
[29] 李国桢、郭演仪,"历代定窑白瓷的研究",硅酸盐学报,11[3], 311页,1983年
[30] 刘可栋,"试论我国古代的馒头窑",中国古陶瓷论文集,185页,文物出版社,1982年
[31] 陕西省考古研究所,"陕西铜川耀州窑",科学出版社,1965年
[32] 河南省文物工作队,"汝窑址的调查与严和店的发掘",文物参考,1958年10期
[33] 赵青云,"河南禹县钧台窑的发掘",文物,1975年6期
[34] 李国桢、关培英,硅酸盐学报,7, No4, 363页,1979年
[35] 刘可栋,"试论我国古代的馒头窑",中国古陶瓷论文集,178页,文物出版社,1982年
[36] 陈显求、黄瑞福、陈士萍、周学林、阮美玲,硅酸盐学报,9[3], 249页,1981年
[37] 劳法盛、叶宏明、程朱海,"浙江古代龙窑和窑具的研究",中国陶瓷,4, 52页,1982年
[38] 浙江省文管会,"龙泉大窑古瓷窑址发掘报告",浙江省工业厅印,1962年6月
[39] 浙江省文管会,"龙泉金村古瓷窑址调查发掘报告",4页,浙江省轻工业厅印
[40] 德化古瓷窑址考古发掘工作队,"福州德化屈斗宫窑址发掘简报",文物,1979年5期
[41] 曾凡,"关于德化屈斗宫窑的几个问题",文物,1979,年5期
[42] 郭演仪、李国桢,"历代德化白瓷的研究",硅酸盐学报,13[2], 198～207, 1985
[43] 刘振群,"中国龙窑及阶级窑的热工研究",华南工学院学报,1, 1958
[44] 刘新园、白焜,"景德镇湖田元末明初葫芦窑遗址调查报告",1977年6月
[45] 兰浦,景德镇陶录
[46] 刘新园、白焜,"景德镇湖田古瓷窑各期碗类装烧工艺考",景德镇陶瓷,[1], 9～14, 1976
[47] 中国社会科学院考古研究所浙江工作队,"浙江龙泉县安福龙泉窑址发掘简报",考古,[6], 504～510, 1981

第五章　南北方青瓷的胎釉及其特征

BODIES AND GLAZES OF SOUTHERN AND NORTHERN CELADON AND THEIR CHARACTERISTICS

青瓷在我国南方出现最早，它是最早的瓷器。据研究证实，浙江上虞早在东汉晚期已经制作出质量较好的青瓷。它的胎致密，呈淡灰色，其显气孔率小于0.5%，釉为灰青色半透明釉[1]。青瓷之所以最早出现，主要是利用天然原料中普遍存在的铁质着色，这些铁质有的是由含铁的杂质矿物引进的，有的是在粘土或云母等矿物中由于离子置换使铁离子进入晶格所致。所有各种形式下存在的铁离子在瓷器烧成过程中部分被还原成低价的 Fe^{2+}，而使釉着色成不同程度的青绿色。其色调的深淡、蓝绿和不同质感则取决于釉的组成、烧成温度和气氛、釉的粘度和流动性、釉中晶相和气孔相的大小和多少以及釉层厚度和胎的颜色衬托等因素。

青瓷发展的历史最长，种类也较多，由于南北方原料和工艺的不同，各自发展出了许多名瓷品种，从时间上和窑系划分可分为东汉至唐五代的越窑系青瓷；宋代的汝和均窑系青瓷；耀州窑系青瓷和官窑与哥窑系青瓷以及景德镇的影青卵白瓷和仿制的各类名窑青瓷。各窑系青瓷在胎质、釉质和釉色上都各具特色，形成了我国青瓷系统丰富多样的局面。

一、东汉晚期至隋、唐、五代的青瓷

瓷器的产生和出现与瓷石原料的发现和利用有密切关系，主要受瓷石的矿物成分和性质所决定。瓷石中所含之石英、绢云母、高岭石和长石矿物构成了其天然混配好的成瓷组分，在1200～1300°C的温度下经烧结即可瓷化形成致密的瓷器。浙江省瓷石矿的蕴藏和分布十分广泛，形成了多处地区可以制作瓷器的天然有利条件。到东汉晚期，由于烧成技术的提高，烧成温度已达到1270～1300°C，用瓷石制作的瓷胎在此高温下可足以达到致密烧结的程度，从而促成了瓷器的出现。此外，半透明釉的烧制成功也是瓷器出现的必要条件。青瓷釉最初是用瓷石和草木灰混制而成。风化程度较差的瓷石一般含助熔剂量较高，常用来制釉，草木灰主要是用来引入釉中的 CaO 成分，在高温下与瓷石相互作用形成高钙质釉。由此可见，瓷器的出现和发明也是依赖于瓷石作为物质基础的。过去有人认为瓷器的发明主要是使用了高岭土，这种看法十分欠妥，因为高岭土主要为高岭石族矿物，含 Al_2O_3 量甚高，其烧结和瓷化温度比瓷石高得多，甚至到1400°C仍不能致密烧结，只能得到多孔性的陶质感的胎。故用高岭土只能制作陶器，难以烧制成瓷器。这就是为什么东汉晚期在浙江地区而不是在其它地方首先烧出青瓷的缘故。

表5-1是在浙江上虞小仙坛和帐子山窑址发掘的东汉晚期的青瓷胎、釉的化学成分与当地瓷石和草木灰成分的比较。从表中可看出，胎和瓷石的成分十分相近，釉也可用瓷石和草木灰配合以满足之。由表尚可约略估算釉中瓷石和草木灰的用量，如果按草木灰中含 CaO 量是50%计算的话，用草木灰配釉其用量约为30～40%。东汉晚期青瓷釉的厚度约为

表 5-1 东汉晚期上虞窑址发掘的青瓷胎、釉和当地瓷石的比较

名称	化学成分 (m%)													备注
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	FeO	P_2O_5	烧失	总计	
盆腹残片瓷胎	75.40	17.73	0.31	0.57	3.00	0.49	1.75	0.86	0.03	0.66			100.14	
罐口残片瓷胎	77.42	16.28	0.38	0.53	2.67	0.58	1.56	0.82	0.04	1.26			100.28	
瓷石	71.66	17.96	0.01	0.22	2.13	0.16	1.45	—	0.02	0.18	6.06		99.85	
盆腹残片釉	57.87	13.73	19.74	2.39	2.05	0.69	1.60	0.59	0.89	0.12	0.89		100.44	
罐残片釉	59.66	13.70	18.20	1.55	1.35	0.49	1.84	—	0.45				97.74	
草木灰	6.46	29.19	40.37	12.65	0.25	0.27	0.51		1.38		4.98		96.06	不同草木灰
	30.83	6.98	34.73	6.34	11.54	0.25	2.72		4.05				97.70	均含较高的
	2.39	13.77	64.23	13.32	0.72	0.53	0.47	—	1.28		3.62		95.31	钙镁氧化物

0.1～0.2mm，釉面平滑均匀，有少量细碎裂纹，透明度尚好，釉质较好。

浙江青瓷自东汉晚期出现之后，经过三国、两晋、南北朝至隋、唐、五代，在胎、釉质量上总的来说有不同程度的提高。但由于浙江地区瓷石原料的分布很广，烧造青瓷的地区又很多，各地区所产瓷石原料在成分和风化程度上也有差异，因此，在硅-铝氧化物和熔剂氧化物以及钛、铁等氧化物含量上也略有高低，这就使各时期浙江诸瓷区所烧制的青瓷在色调和质感上存有一定差别，后期烧制的青瓷在质量上大部分高于东汉晚期的青瓷，但有的还不及。研究结果表明，从东汉至五代的七、八百年间，瓷胎化学成分上的差别并不十分显著，尽管各时代所选用的原料不在同一产地，但使用和处理原料的方法是大致相近的，即都是使用单一类的瓷石原料制胎，以瓷石掺和草木灰制釉。釉中含 CaO 量为 15～20%，含 Fe_2O_3 量为 1.5～2%，含 P_2O_5 量为 0.8～1.8%。各时期浙江地区烧制的青瓷胎、釉的几种有代表性的样品的化学成分列于表 5-2。从表中所列数据可明显看到，在这段历史时期内，浙江的青瓷胎都属高硅质瓷胎，SiO_2 的含量为 75～78%，Al_2O_3 的含量为 14～17%。K_2O 含量为 2.5～3%，这与瓷石的成分十分接近。江苏宜兴地区的唐代青瓷和江西石虎湾地区因盛产瓷石原料，其五代青瓷在胎的成分上与浙江地区各时期的青瓷胎的成分亦相近。四川灌县玉堂窑的唐代青瓷与上述几个地区的成分亦相差不大，可见南方诸窑在五代以前生产制作青瓷的技术工艺方法和使用原料都很相近。大都采用瓷石与草木灰配制青瓷釉，配合的比量也大同小异，并采用瓷石类矿物作为制胎的原料。从瓷胎成分的分布和与瓷石原料成分的对比可以认为，自东汉至五代的漫长时期内，瓷石的淘洗程度都相差不大，即未采用精细的淘洗，而是用较粗淘洗的方法。但北方青瓷的瓷胎具有低硅高铝质的特征，其 SiO_2 含量在 70% 以下，Al_2O_3 含量则在 25% 以上，与南方青瓷胎有明显差别，而与北方所产坩土原料是一致的。一般北方诸省所产"坩土"原料也都是高铝低硅质粘土，而且粘土中往往含有一定量的杂质矿物，可以起到助熔剂作用，促进瓷器的烧结，但无论如何北方青瓷所需烧结的温度比南方青瓷要高，而实际烧结的致密程度有时还不及南方青瓷。

南方青瓷自东汉晚期至北宋时期浙江各地在釉的成分上的差别并不显著，而且与北方隋、唐时期青瓷釉在成分上也十分相似。含 SiO_2 为 56～63%，Al_2O_3 为 10～16%，CaO 含量为 15～20%，K_2O 为 1.4～2.7%，MgO 为 1.4～3.1%。大部分 MgO 含量都比较高，可

表 5-2　三国、晋至唐、五代青瓷胎釉的化学成分[1]

地区	时期		部位	化学成分 (wt%)											
				SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	P_2O_5	MnO	总计
南方(浙江)	三国(上虞)		胎	75.83	16.60	0.33	0.54	2.90	0.60	2.23	1.78	0.84		0.02	99.89
			釉	58.95	12.75	19.56	1.89	2.17	0.81	2.03	0.41	0.73	0.82	0.17	99.88
	西晋(上虞)		胎	76.60	16.09	0.30	0.57	3.00	0.89	1.88	1.44	0.85		0.02	99.72
			釉	60.94	13.84	16.91	2.23	1.86	0.80	2.04	0.22	0.49	0.85	0.31	100.33
	唐	象山	胎	78.01	14.23	0.44	0.53	2.75	0.81	1.82	1.59	0.80		0.01	99.43
			釉	55.96	10.61	19.89	2.05	2.73	0.85	3.87		0.74	1.42	0.39 (Mn0.33)	98.34
		余姚	胎	75.83	17.17	0.29	0.55	2.67	0.87	1.84	1.17	1.00			100.24
			釉	63.67	11.75	15.12	2.69	1.61	0.85	1.93	0.19	0.65	1.62	0.41	100.30
	五代	鄞县	胎	76.94	15.79	0.34	0.57	2.65	1.00	1.74	1.47	1.05	0.10	0.03	100.21
			釉	60.93	12.09	16.51	3.02	1.38	0.83	2.16	0.83	0.70	1.57	0.37	99.56
		临海	胎	76.36	16.22	0.33	0.52	2.60	0.84	1.89	1.51	0.99	0.04	0.01	99.80
			釉	58.72	12.57	18.10	3.14	1.51	0.85	1.96	0.56	0.53	1.80	0.49	99.7
南方(江苏)	唐	宜兴	胎	71.92	20.08	0.49	0.68	2.19	0.63	2.87	0.46	0.99	烧失(0.33)	0.03	100.67
			釉	62.81	11.75	15.55	2.81	1.64	0.84	2.02		0.68	1.69	0.37	100.16
		涧众窑	胎	77.73	14.84	0.45	0.56	1.78	1.25	2.25	0.34	1.04	0.07	0.03	100.00
			釉	59.76	12.57	17.50	2.65	1.57	0.89	2.10	0.20	0.35	1.69	0.46	99.74
南方(江西)	五代	石虎湾	胎	75.16	16.92	0.40	0.64	2.37	0.14	2.19	1.41	1.21	0.05	0.02	100.37
			釉	62.22	14.76	17.18	1.35	1.94	0.27	1.43	0.56	0.29	0.71	0.18	100.46
南方(四川)	唐	邛崃十方堂窑	胎	78.53	15.21	0.23	0.74	1.89	0.16	2.04	1.15	1.15	0.06	0.01	100.02
			釉	56.92	12.06	20.32	3.31	2.04	0.16	1.82	0.12	0.75	2.28	0.2[illegible]	100.42
北方	北魏至隋初	封氏墓出土	胎	67.29	26.94	0.59	0.53	1.86	0.20	1.11		1.17			99.69
			釉	57.25	16.35	17.99	3.35	2.51	0.52	1.65		0.69		0.06	100.37
北方(河南)	隋	安阳	胎	68.46	25.28	0.17	0.42	2.22	0.20	1.30	0.12	1.14	烧失(1.05)		100.22
			釉	58.69	14.21	18.85	1.91	1.72	0.44	2.13		0.73	1.25	0.04	99.97

能与大量使用草木灰，引入 CaO 作为熔剂而带进一定量 MgO 有关。特别是南方，浙江等地所产瓷石中含镁量很低，都在 1% 以下，如果以纯石灰石作为原料，也不会使 MgO 含量增加到如此高的程度，尚且浙江地区也不产大量含镁的适于制备釉的矿物原料，因此唯一的可能就是从草木灰中引入。由此可见，北宋以前制备青釉都是引入草木灰，其用量都相当高。图

5-1 为东汉晚期至清代南北方青瓷釉中 MgO 含量的比较和分布。釉中 P_2O_5 和 CaO 的含量关系也印证了五代和北宋以前是以草木灰作为熔剂原料引入釉的，北宋以前和南宋以后釉中 MgO 含量差别非常明显。北宋以前用草木灰；南宋开始及以后使用石灰石炼烧釉灰引入釉中。

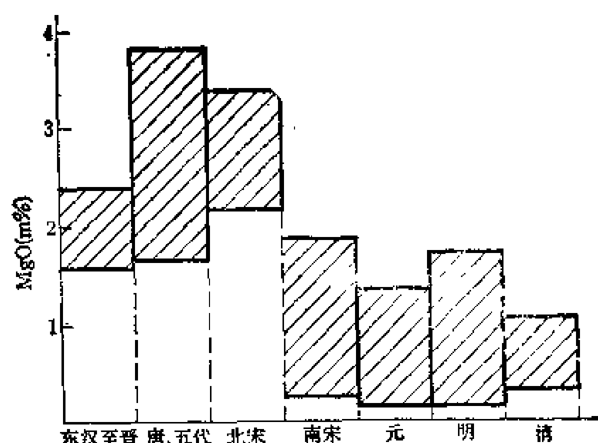


图 5-1　东汉至清代青瓷釉中 MgO 含量的分布

二、宋代青瓷

由于宋代社会经济和商业贸易的发展，造成了瓷业的繁荣局面，青瓷在技术上也有了飞跃的进步。不但南北方的广大地区烧造青釉瓷，而且形成了各具风格和特点的名窑瓷器，如宋代五大名窑中的汝、官、哥窑青瓷和龙泉窑及耀州窑青瓷。这些青瓷虽然都以铁离子着色，但由于各窑区原料稍有差别，烧成和制作工艺也有差别，构成了不同色调的青色和质感，使其装饰效果各有特色。此外，由于气氛对铁离子的价态影响很大，氧化气氛下往往形成各种色调深浅不一的黄色釉，因此，以铁离子为主着色的青瓷的烧制中总有黄釉瓷器伴生，这是各窑区青瓷生产中的必然现象。在窑炉结构不够完善和烧成技术还不够成熟的情况下，窑炉内气氛很不均一，烧制的青瓷中黄釉瓷和黄绿釉瓷所占的比重会相当大。宋代以前，青瓷生产中这种现象特别明显；到了宋代，由于技术的成熟，各名窑烧造青瓷已达到可控，黄色、米黄色、茶黄色以及密蜡黄色等色调的釉也就成为一类装饰的品种。因此，宋代青瓷产品的品种是十分丰富的。

(1) 宋越窑青瓷　唐代以前，浙江地区越窑青瓷的生产是以上虞地区为中心，五代、北宋初期则以余姚为中心烧造青瓷。釉色中青绿釉比以前各时期增多，说明掌握还原焰的烧成技术比以前有所进步。宋代余姚生产的"秘色"青瓷，全部为宫廷垄断专用。由于北方耀州青瓷和定窑白瓷的发展和工艺进步，越窑转向生产一般民用青瓷产品，质量下降，逐渐为其它诸窑代替。从胎、釉的化学成分看，宋越窑青瓷与东汉、唐、五代越窑青瓷无大差别。表 5-3 列出了宋越窑青瓷的化学组成。

北宋越窑青瓷釉中MgO的含量仍很高，足见当时仍然用大量草木灰作为原料配入釉中。从CaO/MgO/K_2O 的比值推断，越窑青瓷釉中使用的是一种含钙镁量高、而含 K_2O 量低的草木灰，不大可能是杉木枝叶的灰，因杉木灰的 K_2O 含量高于 MgO，而且含有较高的 MnO。故用凤尾草灰和山茶树及其叶灰的可能性很大。表 5-4 为各种草木灰化学的成分。

表 5-3　宋代越窑青瓷的胎釉化学组成

部位	时代	化学组成 (m%)											
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CuO	P_2O_5	总计
胎	宋"太平戊寅"款越窑青瓷	74.56	16.34	1.09	0.99	2.51	1.01	1.91	0.98	痕量			99.39
釉		58.76	14.91	17.38	3.37	1.37	0.99	1.61	0.74	0.54	0.03		99.70
胎	宋越窑青瓷碗	75.23	16.48	1.03	0.76	2.93	0.96	1.92	0.84	0.02			100.17
釉		57.45	13.56	20.30	3.33	1.28	1.00	1.99	0.52	痕量	0.14		99.57

表 5-4　各种常见的草木灰的成分[22](m%)

灰的名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	总计
松木枝叶灰	57.08	14.75	6.12		8.04	2.30	5.32	0.39	2.22	1.67	97.59
杉木枝叶灰	30.83	6.93	2.73		34.73	6.34	11.54	0.25	4.05	未测	97.70
松果灰	24.43	21.86	3.67	0.37	16.19	20.25	9.20	0.23	3.70	未测	100.00
凤尾草灰	53.02	19.32	1.67	0.30	8.59	7.44	4.81	0.56	1.33	0.92	99.99
山茶树灰	2.39	13.77	0.47		64.23	13.32	0.72	0.53	1.23	3.62	95.81
山茶叶灰	6.46	29.19	0.31		40.37	12.65	0.25	0.27	1.33	4.93	96.06

(2) 龙泉青瓷　北宋时期龙泉烧造类似越窑的青瓷，南宋以后则生产仿官窑青瓷，即所谓龙泉官窑青瓷。南宋中期以后，龙泉以生产梅子青和粉青釉的弟窑青瓷产品而著称，宋晚期至元则形成了窑场众多的窑系，大量生产青瓷，远销海外市场，明中期以后逐渐衰落。仿官窑青瓷为黑胎，生产量少；梅子青釉和粉青釉青瓷多为白胎或灰白胎。从化学成分看，南宋青瓷的胎中含 Al_2O_3 的量普遍富于越窑青瓷，绝大部分在 20% 以上。这说明南宋已经开始选用风化程度较高的瓷石作为制胎原料，且淘洗程度也较高，即采用精细的淘洗技术，以提高原料中高岭石粘土矿物和绢云母矿物细颗粒部分的含量，从而提高了瓷胎的精细程度。黑胎仿官窑青瓷的胎中需加入紫金土之类的含铁量高的粘土矿物，使胎着成黑色，表现了在制胎方面选用原料和原料加工工艺技术上有了很大的进步。瓷釉的配制到南宋也有了很大改进，减少了 CaO 的含量，增加了 K_2O 的含量，表明草木灰的用量减低，而瓷石的用量增加了。从 MgO 的含量显著降低甚至 $<1\%$ 的情况分析，说明此时已开始采用草木等植物枝叶与石灰石混合煅烧制成"釉灰"而加入釉中。明朝陆容所撰《菽园杂记》中有一条记载，曾记述过龙泉瓷釉的制作方法，"……油则取诸山中，蓄木叶烧炼成灰，并白石末澄取细者，合而为油"。上述记述中，前面的"油"字是指石灰石，白石末是指风化较浅的瓷石经粉碎淘洗后所制得的粉料，蓄木叶烧炼成灰，可以说明当时已经采用树木的枝叶与石灰石一起烧炼成釉灰，与瓷石的精制细粉混合制釉，增加瓷石的用量和淘洗均可使钾含量增高。由于草木灰和石灰制成釉灰，草木灰的用量相对降低了，釉中 MgO、P_2O_5 的量也就相对降低了。故南宋以后釉中 K_2O 量增加，而钙、镁量较以前降低，这就开始了所谓砼灰釉的使用*。表 5-5 列出了几种典型宋龙泉青瓷的胎釉化学成分。

表中尚列入了元、明时期烧制的龙泉青瓷的胎釉化学成分。元明时期，青釉瓷胎在化学成分上与南宋时期的部分瓷胎相仿，胎釉中含 K_2O 量都偏高，釉中所含 CaO 比南宋时期低，这是胎釉中使用了含 K_2O 高的瓷石的缘故。

从南宋龙泉青瓷胎釉成分的变化可以看出，随着胎中 Al_2O_3 用量的提高、釉中 CaO 用量的降低和 K_2O 的升高，青瓷的烧成温度有所增高，釉的烧成温度范围也随之变宽。这也体现了瓷质的提高和进步。

(3) 官窑青瓷　宋代官窑青瓷有两处烧造。一是北宋"汴京官窑"，另一是南宋官窑。据记载，北宋官窑是在宋徽宗时代的一段时间(1111～1125 年间)，设在汴京(今开封)，专烧宫廷用瓷。南宋迁都杭州后，在修内司设窑，后又在乌龟山一带设"郊坛官窑"烧制青瓷，所用工艺方法和制品的样式、颜色皆与北宋相仿。《遵生八笺》中描述，"官窑品格大率与哥窑相同，

* 单用草木灰或使用釉灰配制的釉一般统称"灰釉"，这里为了区别起见，称釉灰用量减低后的釉为"砼灰釉"，以表明其 K_2O、Na_2O 量的增高。

表 5-5 宋龙泉青瓷的胎釉化学成分[3,4]

年代	种类	部位	化学成分 (m%)										
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	Fe_2O_3	MnO	FeO	总计
北宋黄绿釉碗		胎	74.23	18.68	0.54	0.59	2.77	0.48	0.42	2.27	0.02	1.56	100.00
		釉	63.25	16.82	13.00	1.09	3.26	0.57	0.28	1.42	0.43	0.71	100.07
南宋	粉青釉鬲炉足	胎	67.82	23.93	痕量	0.26	5.32	0.32	0.22	2.10	0.03	1.77	100.00
		釉	69.16	15.40	8.34	0.61	4.87	0.32	痕量	0.95	痕量	0.59	99.70
	粉青碗	胎	70.95	21.54	痕量	0.06	4.54	0.43	痕量	2.39	0.04	1.90	99.95
		釉	65.63	15.92	9.94	0.86	5.06	1.12	痕量	1.10	0.32	0.77	100.02
	虾青洗	胎	69.76	22.39	痕量	0.39	4.42	0.75	痕量	1.80	0.05	1.62	99.56
		釉	65.73	14.58	9.74	0.92	4.49	1.27	0.10	2.30	0.20	1.89	99.78
	灰青釉黑胎瓶器	胎	61.37	27.98	0.87	0.73	3.14	0.38	0.74	4.50	0.20	1.19	100.51
		釉	65.31	16.61	12.24	0.82	3.75	0.45	痕量	0.83	0.08	0.17	100.09
	梅子青釉	(1)	68.63	14.32	10.02	0.32	4.31	1.08	0.12	1.01	0.12		99.93
		(2)	66.97	14.17	11.51	0.65	4.26	0.54	0.14	1.01	0.20	0.83	99.99
		(3)	68.02	14.14	9.88	0.77	4.41	1.54	痕量	0.91			99.67
		(4)	67.99	14.15	9.05	痕量	5.36	1.41	痕量	1.32			99.64
元	粉青代绿	胎	70.79	20.13	0.17	0.74	5.50	0.82	0.16	1.63	0.07	1.31	100.00
		釉	67.41	16.74	6.83	0.63	5.49	1.16	0.18	1.51	0.45	1.13	100.40
明	棕黄釉	胎	70.18	20.47	0.16	0.29	6.02	0.97	0.19	1.71	0.10	0.37	100.00
		釉	67.57	15.00	6.28	1.72	6.48	1.14	痕量	1.44	0.14	0.25	99.77

色取粉青为上，淡白次之，油灰，色之下也；纹取冰裂鳝血为上，梅化片墨纹次之，细碎纹，纹之下也”。元、明时期，景德镇民窑仿制的宋代哥窑和官窑青瓷数量很多，增加了辨别真伪的困难。《格古要论》中论述的汴京官窑瓷器为“色好者与汝窑相类”，就是说在釉色上类似汝官窑瓷器。因开封地区几次被洪水淹没，埋在地下很深，考古发掘至今尚未证实窑址，但可推测北宋官窑与南宋官窑在风格上和胎、釉质量上都应相似，因为南宋官窑是继承了北宋官窑的技艺方法继续烧造同类产品的。同时，北宋官窑在色调上应该接近汝官窑青瓷，因为所用原料都在同一地区，其着色杂质相近，而且工艺技术又是从汝官窑那里来的。官窑青瓷的特点是紫口铁足，釉较厚，从古瓷分析得知施釉要三至五次，釉色以粉青为主，釉面呈大纹片开片者为上品。从表 5-6 所列出的化学分析可知，胎的含铁、铝量都较高，呈灰或黑色，釉中含 K_2O 为 3～5%，含镁量较越窑青瓷低，与龙泉窑相仿，CaO 为 10～15%，这说明南宋官窑青瓷可以木枝树叶煅烧石灰石制成的釉灰配制釉料；北宋官窑青瓷可引入方解石和草木灰混合制釉。南宋官窑青瓷胎甚薄，有时厚度比釉还薄，主要是胎中使用了含 Al_2O_3 量高

表 5-6 宋官窑青瓷典型样品的胎釉的化学成分[3,5][6](m%)

名称		部位	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	备注
南宋官窑	粉青	胎	69.12	22.42	3.89	0.76	0.52	3.02	0.31			胎灰色
		釉	62.68	16.72	1.43	13.98	0.98	3.46	0.63			
	油灰色	胎	66.72	23.67	4.94	0.61	0.72	3.81	0.42			胎灰黑色
		釉	62.23	18.17	2.04	13.12	0.63	2.91	1.68			
	蟹壳青	胎	68.99	22.21	3.57	0.82	0.60	3.51	0.33	0.09	MnO 0.03	胎灰黑色
		釉	62.75	16.02	1.14	14.61	1.02	3.01	0.23	0.42	MnO 0.4	
	月白	胎	68.72	22.37	3.62	0.79	0.78	3.46	0.38			
		釉	62.63	16.35	1.17	13.92	1.13	3.23	0.27			
	淡粉青	胎	61.27	28.81	4.12	0.21	0.62	4.16	0.19	0.67	0.08	灰黑色
		釉	65.40	14.63	0.69	13.45	0.66	3.99	0.30	0.08	0.50	
	黄灰色	胎	66.56	24.24	2.63	0.32	0.36	3.71	0.28	1.08	0.03	灰黑色
		釉	64.51	17.28	0.91	13.52	0.77	3.80	0.30			
	炒米黄	胎	65.89	25.34	2.29	0.24	0.34	4.16	0.11	1.22	0.14	灰黑色
		釉	64.73	14.79	0.93	18.36	0.88	2.69	0.21		0.39	
仿北宋官窑	粉青	胎	67.74	23.88	3.75	0.60	0.46	1.92	0.30	1.19	0.06	灰色
		釉	63.19	14.56	1.26	12.13	0.71	5.63	2.09	0.15	0.11	
仿南宋官窑	粉青	胎	66.88	23.67	4.87	0.67	0.41	3.28	0.42			灰黑色
		釉	66.72	16.10	1.47	12.56	0.31	3.03	0.38			

的紫金土，借以引入一定量的 Fe_2O_3。Al_2O_3 的增高提高了胎的抗变形能力，Fe_2O_3 则增加其着色性能，以形成官窑青瓷所具之独特风格。官窑青瓷釉厚，对增强其莹润感和加深色调有益，使釉有玉石质感。釉中大量交叠悬浮着的小气泡有一定散射作用，对玉质感也有贡献。一般，官窑青瓷的烧成温度以 1200～1230°C 较为适当，比龙泉弟窑梅子青和粉青瓷的烧成温度低。官窑青瓷釉的开片取决于胎、釉间热膨胀系数之差，差值越大，胎、釉间应力越大，釉越易开裂。控制这种开片的大小和形态形成了官窑青瓷的各种装饰特征。

(4) 哥窑青瓷　哥窑也为宋代五大名窑之一，但何处烧造至今仍无定论。有两种类型的瓷器常被列为哥窑，一类为传世哥窑；一类为龙泉哥窑。实际上这两种哥窑外观上完全不同。龙泉哥窑瓷器是一种黑胎青瓷，外观上很象官窑青瓷，成分上与官窑青瓷也十分相近，故有人认为它应属龙泉仿官青瓷。传世哥窑青瓷胎厚，胎色有黑、灰和土黄多种；釉色有粉青、月白、油灰和米黄等多种色调。龙泉官窑黑胎青瓷胎薄，釉色多为青灰。从胎、釉化学成分看，传世哥窑与龙泉哥窑的 SiO_2、Al_2O_3、CaO、MgO 和 K_2O、Na_2O 以及 Fe_2O_3 都很接近，只有传世哥窑胎中之 TiO_2 含量高得多。两者釉中含 CaO 量则相差悬殊，传世哥窑釉中含 CaO7～9%，而龙泉哥窑含 CaO 为 13～18%，后者为前者的一倍，与南宋官窑釉中之 CaO 含量相同。传世哥窑的 TiO_2 含量与北方青瓷相近，一般，北方青瓷胎中之 TiO_2 含量为 1～1.5%，且其它氧化物之含量以及两者釉的组成也都十分相近，因此，在烧制北宋官窑青瓷同

时会烧制出类似哥窑之产品，这也是可能的。另一方面，因官窑制胎使用含 TiO_2 高的紫金土，传世哥窑青瓷与南宋官窑青瓷在瓷胎成分上很相近，但两者釉的成分却相差较远，如 CaO 含量相差大；MgO、Na_2O 含量较南宋官窑高。虽然传世哥窑青瓷可能与南方官窑在同一时期和地点制作，但还是与北方青瓷更接近。传世哥窑与景德镇制作的仿哥窑瓷器虽也有许多相近之处，但景德镇原料中之 TiO_2 是以金红石形态存在，在原料淘洗过程中大部分会被淘掉。一般，景德镇瓷器的 TiO_2 含量较低，在1%以下。从这点可见，宋传世哥窑出于景德镇的可能性是不大的。哥窑瓷胎相当厚，因胎釉间热膨胀系数之差比官窑大，其开片多呈较密集的小纹片。由于哥窑釉中 CaO 含量低，K_2O 含量相对变高，釉的粘度随温度的变化比官窑小，釉中存在大量气泡不易逸出釉外，同时又有相当多的钙斜长石柱状针晶析出，留在釉中，故哥窑瓷釉呈较为明显的乳浊，这也是哥窑瓷釉的重要特征。哥窑青瓷的化学成分如表 5-7 所示。

(5) 汝窑青瓷　汝窑为宋代名窑之一。汝窑烧制汝官窑青瓷和民用的临汝窑青瓷。汝官窑青瓷烧造时间很短，传世品稀少珍贵，流传至今不过几十件。汝窑胎有灰色、土黄色及灰白色多种，釉色为鸭蛋青色或淡天青色，釉面多无光泽，釉多有很细的裂纹。汝窑采用支

表 5-7　哥窑青瓷的化学成分[7,8,5]

来源	编号	部位	化学组成(m%)										备注
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	
元大都发掘	Y_1	胎	63.04	27.03	0.11	0.69	3.33	0.54	3.55	1.33	0.17	0.01	传世哥窑
		釉	63.54	17.32	8.84	1.36	5.24	1.68	1.04	微量	0.45		
	Y_2	胎	58.23	28.79	0.23	0.44	3.79	0.64	3.53	0.82	0.07		
		釉	61.66	19.23	8.68	1.14	4.75	1.35	1.40		0.62		
	Y_3	胎	58.72	28.95	0.19	0.39	3.74	0.60	3.36	0.73	0.14		
		釉	63.37	18.68	7.37	1.13	4.78	1.35	1.34		0.94		
故宫收藏	SKO-1	胎	64.33	25.97	0.42	0.56	2.68	0.74	3.31	1.27		痕量	传世哥窑
		釉	66.62	16.46	8.38	1.01	4.46	1.85	0.78	0.04		0.24	
龙泉	LG_2	胎	62.68	28.69	0.53	0.54	4.15	0.14	3.74	0.08			龙泉哥窑
		釉	63.08	16.10	13.98	0.69	4.04	0.18	0.97				
	LG_3	胎	64.38	26.80	0.25	0.57	4.23	0.20	3.77	0.13		烧失0.21	
		釉	63.83	14.83	14.81	0.99	3.54	0.19	0.70				
	LG_5	胎	62.58	27.03	0.45	0.59	3.94	0.16	4.33	0.07		烧失0.59	
		釉	61.45	14.74	17.85	0.96	3.33	0.18	0.78			烧失0.22	
	LG_7	胎	64.19	25.24	0.20	0.65	3.96	0.13	4.50	0.80			
		釉	64.27	12.25	16.44	0.74	4.32	0.32	1.27				
	LG_9	胎	63.35	26.15	0.54	0.31	3.75	0.19	4.56	0.19			
		釉	63.32	15.76	14.19	0.64	4.18	0.20	0.91				

烧方法烧造，用三个或五个支钉，支烧后的器皿上留有芝麻大小的细针孔。至今，已分析过的汝官窑瓷片只有两片，其分析数据示于表 5-8。

表 5-8 汝官窑胎、釉化学成分[9,10]

编号		化学组成(m%)												颜色
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	CuO	P_2O_5	MnO	
Ru-1	胎	65.20	27.71	0.56	0.42	1.86	0.17	2.20	0.32	1.24		0.10		土黄
	釉	58.8	17.02	15.16	1.71	3.24	0.60	2.31		0.21		0.58		淡天青
S_1-1	胎	65.00	28.08	1.35	0.56	1.37	0.15	1.96	0.71	1.38			痕量	灰色
	釉	58.27	15.39	14.19	2.26	4.50	0.84	2.09	1.21	0.37	0.12	0.72	0.28	后经火烧表面变色

汝窑青瓷胎为低硅高铝质，含铁、钛量较高，故在氧化焰中烧成呈土黄色；在还原焰中烧成呈灰色。显气孔率为 19～21%。烧成温度为 1150～1200℃。釉中 SiO_2 含量较低，CaO 含量甚高，MgO 含量也较高，Fe_2O_3 含量与官窑青瓷釉的高者相当。从汝官窑的显微结构可以发现，在釉中有大量钙长石的短针状晶体析出，所占体积超过釉的一半，另外尚有大量细小气泡团，这是汝官窑青瓷乳浊的主要因素。经复烧到 1200℃ 以上，釉明显变为透明。这说明汝窑要控制在较低温度下烧成，且要经过一段保温慢冷的析晶过程。图 5-2 为汝官窑青瓷的偏光显微镜照相。从胎的颜色可以判断，其烧成气氛可能是先烧氧化焰，后烧还原焰。

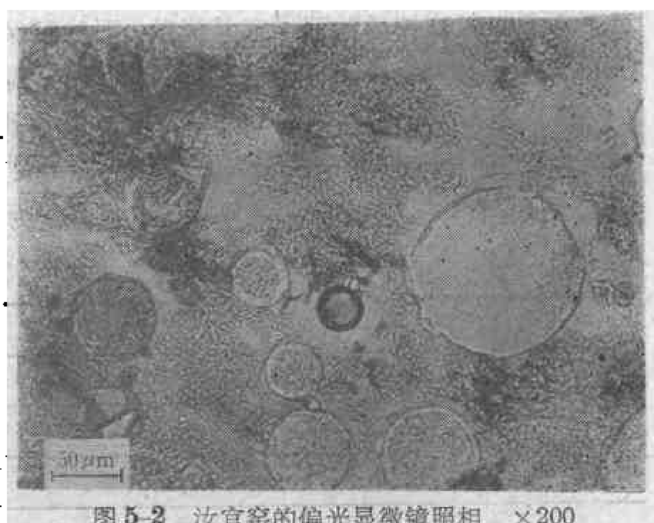


图 5-2 汝官窑的偏光显微镜照相 ×200

临汝窑和汝官窑青瓷的烧造地点为河南临汝地区。临汝窑青瓷为釉面较亮的艾青色，釉呈透明，可察见胎之刻、印花纹饰，有时由于窑内气氛关系，也有褐黄色釉出现。临汝窑青瓷胎属高铝质，含铁、钛氧化物的量都在 1% 以上，多呈灰色，氧化气氛烧成呈土黄色。从其 Al_2O_3 和 K_2O 的含量推断，胎主要采用当地粘土和加入少量长石配制，长石用量为 15～20%。釉中，CaO 含量为 7～9%，与哥窑、钧窑青瓷釉中 CaO 含量相近，为汝官窑青釉的一半。临汝窑青瓷的烧成温度高于汝官窑青瓷，为 1270±20℃，但并非所有产品均致密烧结，有一部分还处于生烧状态，其气孔率高达 8.6%，这说明窑内各窑位的温度分布不均。从显微结构可见，临汝青瓷釉中气泡较大，钙长石晶体量少而细小。图 5-3 为临汝青瓷釉的偏光显微镜照相。临汝地区附近产各种粘土、长石、"黄长石"以及方解石之类的原料，对于青瓷的生产是极为有利的。表 5-9 示出了临汝窑青瓷的胎釉化学成分。临汝窑的釉主要是采用方解石、长石和木灰作为熔剂原料配制而成。

(6) 钧窑青瓷 钧窑亦属宋代五大名窑之一。据考古发现，钧窑烧造宫廷用瓷始于北宋。早在唐代，钧窑烧制有花釉斑彩装饰的黑釉瓷器，后来才大量烧制青瓷。虽然钧窑属北

方青瓷系统，但青瓷的颜色不同于一般越、龙泉、官、临汝和耀州窑青瓷，其色泽偏蓝色色调和带有乳光。钧窑位在河南禹县。宋代临汝窑也烧造钧系青瓷，窑址分布在严和店、大峪店等地，与禹县相距很近，所烧瓷器兼具汝、钧特色，釉色润泽，故称汝钧瓷。釉色有天青、月白、天蓝。表5-10为几种典型的天青釉钧瓷的胎釉化学成分。

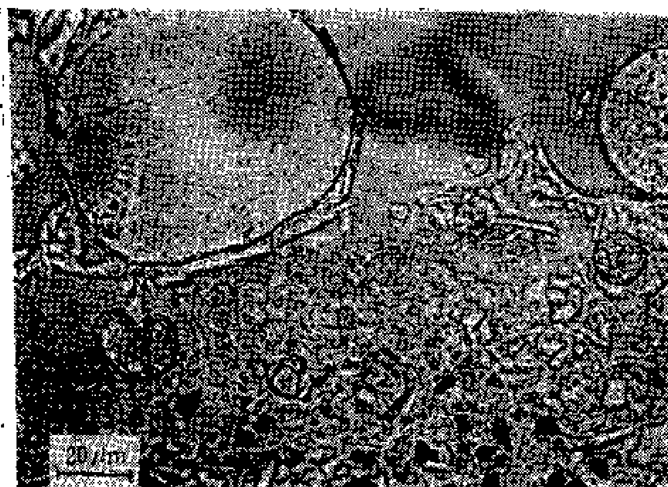


图5-3　临汝窑青瓷釉的偏光显微镜照相　×500

钧窑青瓷胎中 Al_2O_3 含量很高，在25%以上。作为主要助熔剂的 K_2O 量一般为2～3%，若含量过低则难于在1250°C左右烧结致密。胎中含 Fe_2O_3 量为2%左右，含 TiO_2 大于1%，故其胎色一般呈灰色，如遇弱氧化焰则有时带土黄色。钧窑青釉多为天青色，着色淡者为月白色，着色深者为天蓝色或深蓝色。釉的 SiO_2/Al_2O_3 比值较一般瓷釉高，生成的釉为高硅质玻璃釉，釉内含万分之几的 CuO_2，且釉中铁被还原的程度很高，加之高硅质玻璃中含有一定量的 P_2O_5，起分相作用，使釉呈现出带乳浊和有乳光的天青、月白和天蓝色，同时气泡在釉中的悬浮对散射也有一定贡献。钧窑青瓷的烧成温度在1250°C左右，比临汝窑青瓷稍低些。由于釉中的钙量低于官窑，含 K_2O 的相对比量就显得高些，釉的粘度较高，故在高温下不象一般高钙质釉那样容易流釉，而使釉保持较厚的厚度。许多钧窑天青釉常常用含 CuO 量高的釉料装饰呈紫红斑，则显得更加美丽。

(7) **耀州窑青瓷**　耀州窑烧造青瓷始于唐代，北宋开创了刻花青瓷，后兼烧印花青瓷，为河南临汝窑、宝丰窑……以及广州西村窑和广西永福窑所仿制。耀州窑在今陕西铜川黄堡镇地区，宋时属耀州管辖故名。耀州窑青瓷为润泽光亮的橄榄青色，即釉色青中显黄，也

表5-9　临汝青瓷胎、釉化学成分

名称及编号		化学组成(m%)												备注
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	P_2O_5	C	MnO	
LR-1	胎	64.11	29.44	0.54	0.41	1.64	0.29	1.97	0.20	1.14	0.1			[10]
	釉	67.01	14.70	9.19	0.77	3.56	1.52	1.48	0.14	0.33	0.37		0.09	
LR-2	胎	64.31	29.64	0.37	0.45	1.97	0.35	2.12	1.57	1.02	0.08	0.08		
	釉	66.70	15.33	8.62	0.73	3.77	1.72	1.76	0.79	0.29	0.38		0.05	
LR-3	胎	63.15	30.17	0.28	0.42	2.00	0.37	1.90	1.57	1.19	0.09			
	釉	67.52	15.31	7.57	1.07	3.71	1.36	1.91	1.55	0.31	0.66		0.05	
LR-4	胎	69.46	23.82	0.43	0.64	2.26	1.23	1.75	1.23	1.16	0.16	0.10		
	釉	67.66	14.52	8.55	0.76	4.17	1.62	1.62	0.82	0.21	0.45		0.06	
72	胎	65.47	27.88	0.76	0.36	1.50	0.37	1.80	1.35	1.32				
	釉	68.09	14.56	7.74	0.60	4.28	2.51	1.53		0.26	0.5			

表 5-10　钧窑系几种天青釉瓷器的化学组成[10,11]

名称	编号	部位	氧化物含量 (m%)													胎釉颜色和质量
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	P_2O_5	SnO	CuO	MnO	
宋钧天青釉	S_2-1	胎	64.40	27.37	0.76	0.68	2.74	0.32	2.51	0.71	1.22				痕量	胎致密，釉天青色厚0.76mm
		釉	71.02	9.61	10.67	1.00	4.46	0.49	2.11	1.71	0.30	0.13		0.07		
官钧天蓝釉	Y_1-3	胎	65.19	25.00	0.74	0.70	2.55	0.33	3.19		1.16					胎淡灰黄色，致密，釉天蓝色
		釉	71.65	9.70	10.77	0.78	4.40	0.65	1.99	1.65	0.31	0.46		0.07		
宋钧天青釉	Chün-1	胎	63.57	31.11	0.83	0.30	1.75	0.35	1.32		1.04					胎生烧，淡灰色，釉为天青色
		釉	73.29	10.73	8.74	1.34	3.16	1.02	1.79		0.17	0.64		0.03		
宋汝钧天青釉	RJ-1	胎	65.86	25.17	0.42	0.42	1.94	0.30	1.97	0.65	1.30	1.10	(C 0.33)		0.01	胎致密，灰色，釉天青色
		釉	72.67	9.92	8.56	1.59	3.65	0.91	1.23	0.25	0.26	0.94			0.10	

表 5-11　耀州窑青瓷胎、釉的化学成分[1,9,10,11]

名称	编号		化学组成 (m%)											
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	FeO	P_2O_5	C
宋瓷片	S7-1	胎	65.44	28.05	0.93	0.22	2.48	0.30	1.54	1.27	痕量	1.31		
		釉	68.25	14.72	10.27	1.87	2.4	0.37	1.90	0.19	0.06	0.97		
唐碗底残片	89	胎	66.49	21.22	0.43	0.77	1.60	0.12	2.20	1.55	0.01	0.22		
		釉	61.41	16.30	16.00	1.51	1.75	0.21	1.92	0.41	0.07	0.23		
宋印花残片	Z47	胎	73.91	19.01	0.46	0.81	2.33	0.20	2.54	1.15	0.01	0.21		
		釉	69.07	13.95	8.62	1.14	8.62	0.36	2.08	0.29	0.04			
宋耀州青瓷片	Y-1	胎	70.18	24.59	0.20	0.61	2.37	0.26	1.43	1.28		1.31	0.04	
		釉	71.58	14.42	5.58	1.55	3.05	0.56	1.94	0.37	0.05	1.87	0.47	
	Y-2	胎	72.60	21.92	0.21	0.62	2.42	0.24	1.55	1.18		1.55	0.06	
		釉	65.67	14.28	12.62	2.17	1.92	0.37	1.51	0.29	0.06		0.72	
	Y-3	胎	64.52	29.79	0.53	0.68	2.24	0.26	1.76	1.36		1.36	0.06	0.2
		釉	67.03	15.27	9.63	1.38	2.57	0.36	1.82	0.34	0.07	1.16	0.77	
	Y-4	胎	72.16	20.28	0.38	0.78	2.59	0.35	1.71	1.16		1.30	0.14	0.07
		釉	70.00	13.59	9.48	1.32	2.71	0.31	1.43	0.11	0.05	0.58	0.61	
宋瓷片	宋瓷-1	胎	71.50	22.43	0.93	0.22	2.48	0.30	1.34	1.17				
		釉	67.90	14.37	9.39	2.10	2.81	0.68	2.24	0.17		0.95		

有茶黄、姜黄色等多种色调，以往常把耀州窑青瓷和临汝窑青瓷相混淆，因为两者在胎、釉和刻印花装饰上极为相似，不过临汝窑青瓷呈艾青色者多。表 5-11 示出了耀州窑青瓷胎、釉的化学成分。耀州窑青瓷胎之成分与临汝窑青瓷相近，Al_2O_3 含量略低于临汝窑青瓷胎，

Fe_2O_3和TiO_2的含量也高，故胎色为灰色。釉中，含钙量的变化范围很大，可从5.58%变化到16%，K_2O的含量低于临汝窑青瓷和钧窑青瓷，故釉的高温粘度小，釉中常有明显的大气泡存在。釉色较南方青瓷和临汝青瓷带有更多的黄色成分，故呈橄榄青色，这与烧成中还原性气氛较弱或在烧成后的冷却过程中二次空气进入窑室出现氧化有关。据烧成温度测试结果表明，耀州窑青瓷的烧成温度比一般青瓷都高，这对以铁着色的青釉的色调也会有影响，即高温下Fe^{+3}在釉中的比例较高，对导致釉色显黄也有一定作用。青釉显黄绿的特色即是耀州窑青瓷的特有风格。

古代，耀州窑青瓷以"泥池粘土"为主制胎，以"富平釉石"为主配釉。陈炉产的"料姜石"是一种含砂灰岩，主要为方解石微晶集合体所组成，也是配釉的重要原料。耀州青瓷烧成温度为1280～1300℃，烧成气氛为弱还原焰。胎内有游离石英和少量莫来石晶体以及小气孔，釉内有较多的0.06～0.26mm的气泡悬浮在不同深度釉层中，有少量钙长石晶体分散在釉中。耀州窑青瓷胎、釉之间的白色中间层和临汝窑青瓷及钧窑青瓷一样，是反应层，而非化妆土层。

三、元、明、清时期的青瓷

元代重视对外贸易和手工业，瓷器生产技术在宋代的基础上也有了一定的发展和提高。除继续生产传统瓷器品种外，由于外销瓷的发展和需要，在原料选用、成形方法、烧成技术上都有很大改进和创新。例如，宋和宋以前景德镇都采用一元原料制胎，即单一使用瓷石类原料制瓷胎，由于瓷石的烧成温度范围很窄，制品容易变形，更不能制大型器物。元代时期，为了满足大型器物制作的要求，采用了瓷石加高岭土的"二元配方"[12]，并提高了烧成温度，生产出了大量大型瓷器，这是元代景德镇制瓷技术的巨大创举，为景德镇明、清时期制瓷技术的进步奠定了物质基础。宋代和宋代以前，景德镇主要生产影青瓷，元代则在影青瓷的基础上发展制成了枢府窑淡青色的"卵白瓷"。这种瓷器的瓷胎采用添加高岭的二元配方，且用减低釉灰及增加瓷石的量，提高釉的烧成温度。枢府窑的卵白瓷多为印花装饰，釉色白里带青，不透明，呈现失透的半木光。胎釉的化学组成列于表5-12中，同时列出了元代和宋代的影青瓷以资比较。由表不难看出，元代影青瓷胎中Al_2O_3含量亦高于宋代，说明元代影青

表5-12　宋、元代影青瓷枢府窑卵白瓷的化学成分[12]

时代及名称		组成(m%)										
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	FeO	P_2O_5
宋影青 S9-2	胎	74.70	18.65	1.10	0.50	2.79	1.49	0.96	0.03	0.08	0.43	
	釉	66.68	14.30	14.87	0.26	2.06	1.22	0.99		0.10	0.43	
元影青 YG(72)VI-2	胎	72.08	21.01	0.40	0.23	2.50	2.56	0.84	0.09	0.05	0.68	0.04
	釉	67.56	14.07	11.98	0.45	2.07	2.92	0.86	0.08	0.09		0.14
元枢府 YG(72)IV-3	胎	72.04	20.45	0.16	0.11	3.16	3.43	0.98		0.07	0.80	0.04
	釉	71.87	13.68	5.59	0.19	3.17	3.60	0.83	0.22	0.09	0.07	0.16
元枢府 YG(72)IV-4	胎	72.00	21.28	0.20	0.16	2.87	1.76	1.27	0.16	0.07	0.97	0.05
	釉	70.09	15.24	6.40	0.18	3.22	3.13	0.83	0.16	0.09	0.06	0.15

瓷胎中也使用了高岭土。

元代龙泉窑生产的青瓷也制作大型器皿，要制作好大型器物，必然要解决变形问题和大器物的釉色均匀性问题。无论在成形上，还是在烧成技术上都需要一系列的改进，因此，在元代，龙泉窑青瓷的生产在部分工艺上超过了前代，唯釉色不及宋代。元代北方钧窑仍继续生产青瓷。钧窑系窑场分布很广，除河南诸窑之外，尚有河北省磁县、山西浑源和介休窑亦生产钧瓷。大多数生产月白釉、天青釉和部分蓝釉红斑瓷器。胎质较粗，釉多棕眼，光泽较差，不及宋钧瓷器质量高。

明、清两代瓷业的中心移到了景德镇，所产瓷器的质量高、数量大、品种多，不但供国内外市场需要，还建立御窑厂专为宫廷制作官用瓷器。至明代，景德镇以外的各大窑场都相继衰落，作为全国制瓷中心的景德镇发展规模越来越大，制瓷技术和艺术水平也越来越高。明代景德镇生产的瓷器以青花瓷为主流，加上各种色釉的发展，青瓷已不再成为大量生产的品种，如永乐时期有仿龙泉青瓷，成化时期仿哥窑青瓷。青瓷的质量也不及宋代各名窑产品。

明代初期浙江龙泉青瓷尚有一定地位，但规模和数量都比以前减小了。青瓷的质量也有所下降，釉薄带灰，釉透明而带乳光，失去了如玉的艺术效果。明中期以后，龙泉青瓷的生产更加衰落。

清代景德镇在仿制汝、官、哥、钧等青瓷方面有很高的成就，雍正、乾隆两朝尤为突出和成功。特别是雍正时期，创造了烧东青（豆青）釉的技术，由于制造技术的成熟，釉色极为稳定，成品率甚高，尚且能制出印花云龙大缸，直径达 62 cm，高达 45 厘米。器形规整，釉色均匀，是青瓷制作中技术水平最高的代表。清代在胎、釉配制上也有提高和改进，胎中所用高岭的量比元、明更高，釉中釉灰的用量相应减低，这都表明技术上有较大的提高。表 5-13 列出了雍正仿哥窑青瓷和粉青水果盘残器的化学分析成分，以资比较。

表 5-13　雍正仿哥窑青瓷和粉青瓷的化学成分（m%）

名称		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5	FeO	[illegible]
仿哥窑青瓷	胎	62.61	28.52	0.16	0.53	2.52	0.58	4.16	0.50				99.78
	釉	69.51	16.36	6.28	0.41	3.96	1.96	1.34				CuO(0.015%)	[illegible]
粉青水果盘	胎	71.33	22.24	0.68	0.32	3.45	1.16	0.72	—	0.06		0.58	[illegible]
	釉	63.94	15.98	13.23	0.34	2.83	1.30	1.71	0.18	0.21	0.09	0.58	[illegible]

清代制瓷业发展到康熙、雍正和乾隆三朝，官、民窑俱盛，各种瓷器并茂，使瓷器生产达到了登峰造极的黄金时代。至道光时期，瓷器的生产已趋于衰落，青瓷的生产就更不堪设想了。

四、青瓷的发展和演变

青瓷胎质上的演变涉及到原料的选择使用，东汉至北宋时期，南方使用单一类的瓷石原料制胎。南宋以后，选用了风化程度很高的瓷石，甚至有些瓷石高岭化的程度已很高。景德镇在宋以前使用单一类瓷石制胎，元开始采用瓷石中加入高岭土，以后高岭用量逐渐加多。北方青瓷胎大部分是高铝质，因北方盛产粘土，主要是以粘土作为制作瓷胎原料，有时少量配入长石等熔剂原料。南、北方青瓷胎中 SiO_2、Al_2O_3 含量的分布如图 5-4 所示。青瓷釉的发

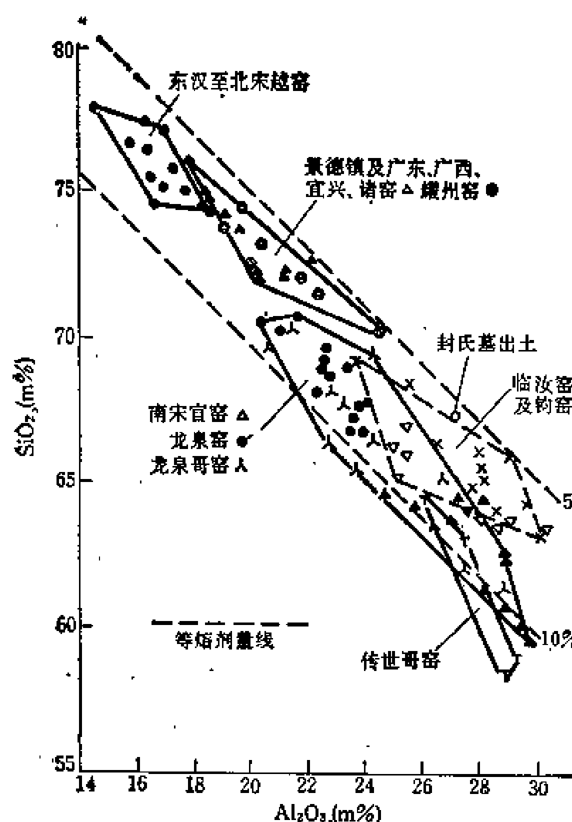


图 5-4　南北方青瓷胎中 SiO_2、Al_2O_3 含量分布(m%)

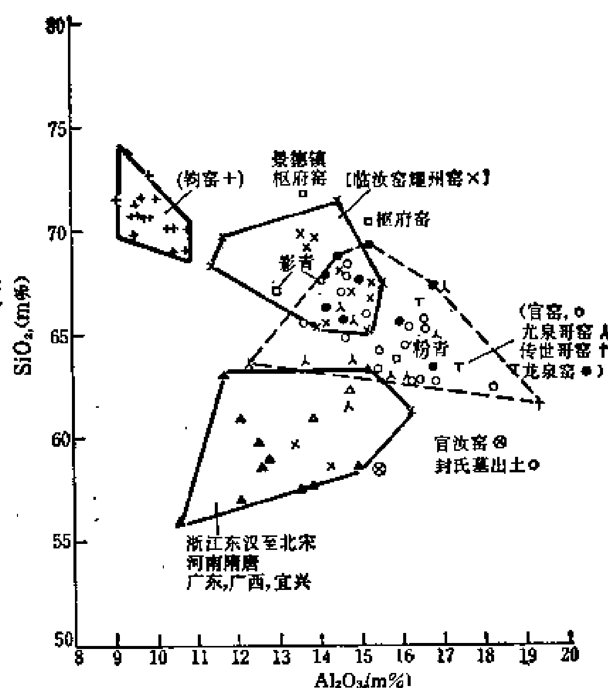


图 5-5　南北方青瓷釉的 SiO_2、Al_2O_3 含量分布(m%)

展概括起来看，南方可分为三个大的阶段，即北宋以前使用草木灰与瓷石配釉的阶段；南宋以后使用釉灰与瓷石配釉的阶段；元、明以后减少釉灰用量提高瓷石用量，使高钙质釉变为钾钙质釉的阶段。北方青瓷釉在隋唐以前为高钙质釉，宋代各窑钙含量降低，钾含量升高，多为钾钙质釉。各名窑青瓷釉的 SiO_2、Al_2O_3 的含量也不相同，临汝窑和耀州窑青瓷釉相仿，钧窑青瓷为高硅质釉。图 5-5 和图 5-6 分别示出了南北方青瓷釉的 SiO_2、Al_2O_3 分布和 K_2O、CaO 分布。从烧成后釉的状态可以把南、北方青瓷分成为乳浊，半乳浊和透明三类。乳浊的因素很多，有的是由于烧成温度偏低，釉中含有大量微气泡散射所造成；有的是釉内有大量钙长石类晶体析晶和许多未溶解的游离矿物；有的是高硅玻璃釉中由于磷的存在而分相造成乳浊和乳光。透明釉则是釉在较高的温度下几乎完全玻化而处于只含有少量大气泡和晶体分散的阶段。如果将传统的各名窑青瓷按上述三种类型的釉划分的话，一般可将汝官窑、钧窑、传世哥窑和部分官窑青瓷以及枢府窑青瓷视为乳浊釉；龙泉窑、越窑和部分官窑青瓷视为半乳浊釉；而临汝和耀州窑青瓷及影青瓷视为透明釉。这些都与釉的熔融状态和釉的内部显微结构密切有关，图 5-7 为几种代表的青瓷釉的显微结构的照相。图中，哥窑釉中的钙长石针晶和少量附在粘土或云母颗粒附近的莫来石微针晶都是形成哥窑青釉乳浊的因素[7]；汝官窑青瓷釉中也布满大量钙长石和气泡，故其乳浊性很强；耀州窑和临汝窑青瓷则仅散在着极少量钙长石小晶体，其透明度较高。

南北方各名窑青瓷尽管都以铁离子作为主要着色离子形成青色，但由于所用原料不同，配方的成分差别及烧成条件的不同，都使得青瓷釉在呈色上和釉质的状态上显示出不同的

特色。图 5-8 为南北方各类青瓷釉中 Fe_2O_3 和 CaO 的分布。从分布可见，Fe_2O_3 的含量在各类青釉中是不同的，分布在<1%至2.5%的广阔范围中，各别还达到4%。在以 CaO 或 $CaO+K_2O$ 为主要熔剂的釉中分布的范围也相当宽，如果烧成温度有高、低和气氛上还有还原轻重的话，当然对色调的影响是非常大的。由图 5-9 南北方各类青瓷釉中 SiO_2、P_2O_5 的分布表明，SiO_2、P_2O_5 的含量对釉的影响也是十分显著的。P_2O_5 是釉中的乳浊剂。一般分析钧窑的乳浊程度很高，而且有乳光效果，但从分布图上看钧窑青瓷中含 P_2O_5 量并不高，与临汝、耀州窑青瓷釉相仿，比越窑青瓷釉少1～2倍。由此看来，含 SiO_2 特高的釉，借助 P_2O_5 来促进分相作用，对釉的乳浊或呈现乳光效果是比较显著的。当然这些还与烧成温度、釉中残留物和生成的晶体、气泡量的多少以及冷却速度等因素也有十分密切的关系。Robert Tichane 对青瓷中出现的许多影响质感的因素也有过同样的研究结果[13]。如汝官窑青瓷的烧成温度最低，尽管釉中的 CaO 含量达15%，如果烧成温度偏低仍然可以使它具有较高的乳浊程度，因此，在 CaO 含量高的情况下，仍然可以在釉中生成大量钙长石析晶和小气泡团的聚集。官窑青瓷的烧成温度比汝官窑青瓷高些，釉中气泡尺寸大于汝官窑青瓷釉中气泡尺寸，釉中晶体量亦少些，故其乳浊程度不及汝官窑青瓷釉。临汝和耀州窑烧成温度更高，大量气泡已排出釉外，残留部分分散的大气泡，其中未溶矿物和生成晶体都通过高温过程溶解，残留的已很少，因此呈现出透明的特征。上述几种青瓷烧成温度的顺序为：汝官青瓷(<1200℃)<官窑青瓷(1200～1240℃)<钧窑青瓷(1240～1270℃)<临汝窑青瓷(～1270℃)<耀州窑青瓷(～1300℃)。

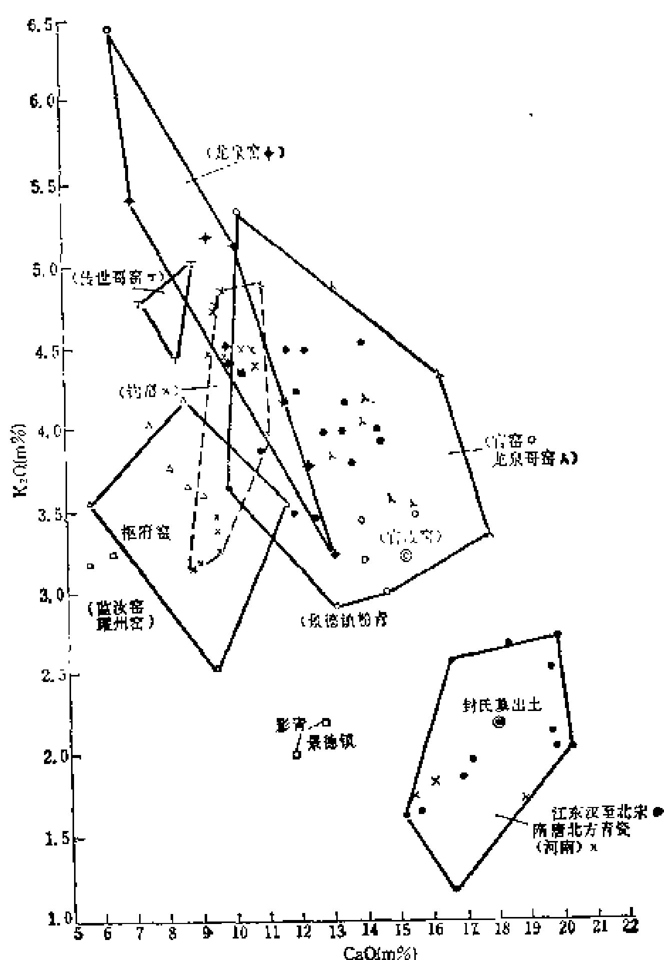
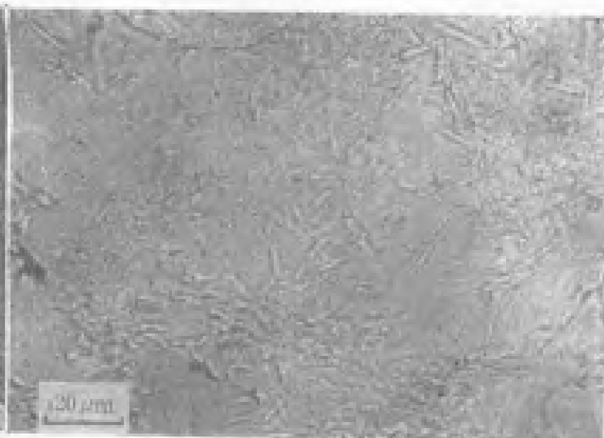


图 5-6　南北方青瓷釉的 K_2O、CaO 分布

南北方青瓷所表现的颜色上的差异还是明显的，图 5-10 示出了南北方青瓷的分光反射率曲线。从曲线的分布可以看出，汝官窑青瓷、钧窑天青釉和景德镇枢府窑青瓷的釉都带有偏微蓝的色调。临汝窑、耀州窑和越窑青瓷釉的反射率曲线都偏于黄绿色色调的波长范围。这与釉中所含 Fe^{2+}/Fe^{3+} 的比例有密切关系，Fe^{2+}、Fe^{3+} 离子在釉中的存在状态和比例也受到各种因素的制约和影响，使古代各窑区所烧造的青瓷显现出不同的色调。质感除与原料成分和受热后的变化状态有关外，工艺因素也是不可忽视的因素。中国传统青瓷花样繁多，就是受这些复杂的多因素影响的结果，故青瓷的仿制不是那么容易。



哥窑 ×505 (1)



哥窑 ×505 (2)



汝官窑 ×200 (3)



耀州窑 ×200 (4)



临汝窑 ×200 (5)

图5-7 几种青瓷釉的显微结构，斜交偏光+石膏板

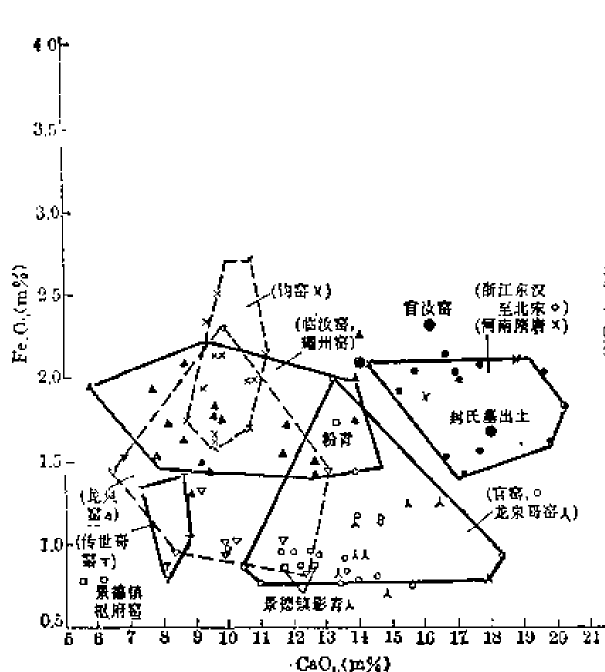


图5-8 南北方青瓷釉的 CaO、Fe_2O_3 含量分布(m%)

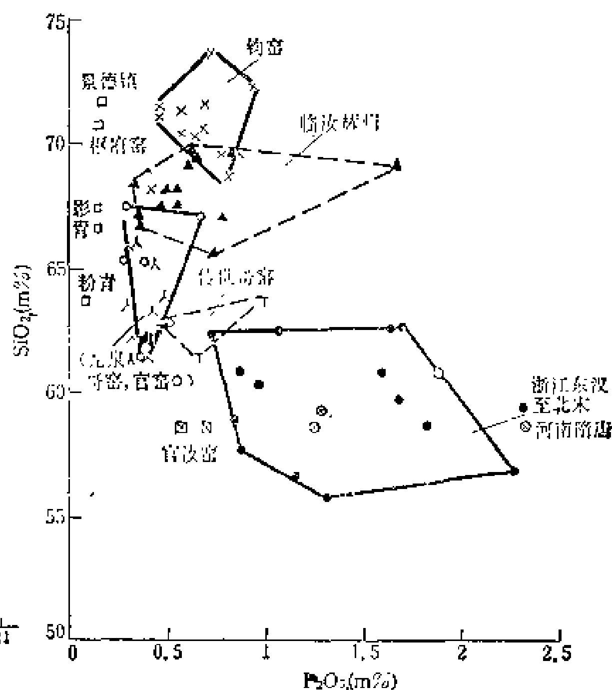


图5-9 南北方青瓷釉的 SiO_2、P_2O_5 含量分布(m%)

五、青瓷胎、釉的受热行为和特征

历代各名窑青瓷各具特征，均负盛名，无论在釉质的色调上和质感上都各不相同，这究竟与那些因素有关系呢？如果从釉的成分比较，它们之间的 SiO_2/Al_2O_3、K_2O/CaO 和 Fe_2O_3/TiO_2 比都不相同，这直接影响了釉在高温下的粘度变化行为和着色色调。胎、釉受热后的相互作用对青瓷釉质的状态也有着十分显著的影响。一般瓷胎受热后，在1050°C以下不显示明显胀缩，胎体中气孔率保持较高的百分比。受热至1050°C以上时，由于胎内的化学的和物理化学的变化，产生了部分玻璃态物质，在高温下所起的液相作用使固相颗粒间产生化学反应，并驱使胎体逐渐收缩，气孔率逐渐减少，填充在气孔中的空气逐渐排出胎体之外。当温度继续升高，反应继续进行，排除气孔的致密化过程也逐渐持续和加强，直至达到胎中气孔接近全部排除，瓷胎即可达到完全致密的瓷化状态。实际上，瓷胎中产生的玻璃态物质将气孔赶出>90%后，已将剩余的2～3%的气孔封闭在胎中。当胎体继续受热后，由于被封闭的气孔受热膨胀，致使胎体显现出过烧膨胀的反致密化

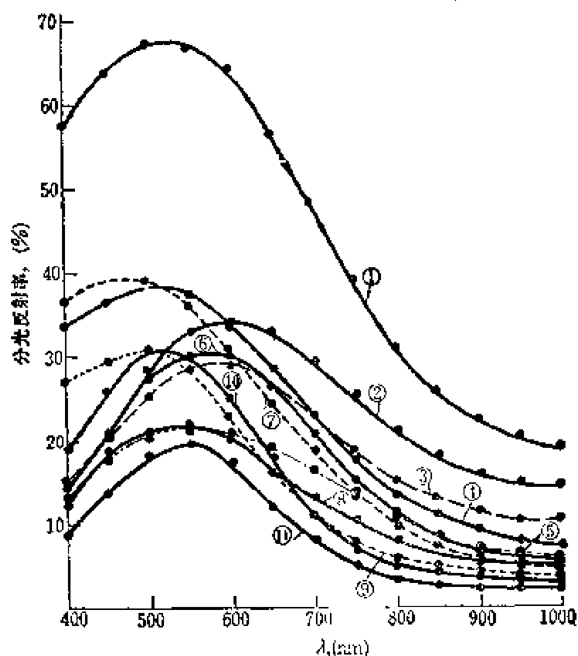


图5-10 南北方青瓷的分光反射率

① 景德镇枢府窑；② 越窑；③ 耀州窑；④ 汝官窑；⑤ 龙泉哥窑；⑥ 临汝窑；⑦ 汝钧天青釉；⑧ 南宋官窑；⑨ 钧窑天青釉；⑩ 龙泉弟窑；⑪ 钧窑青绿釉

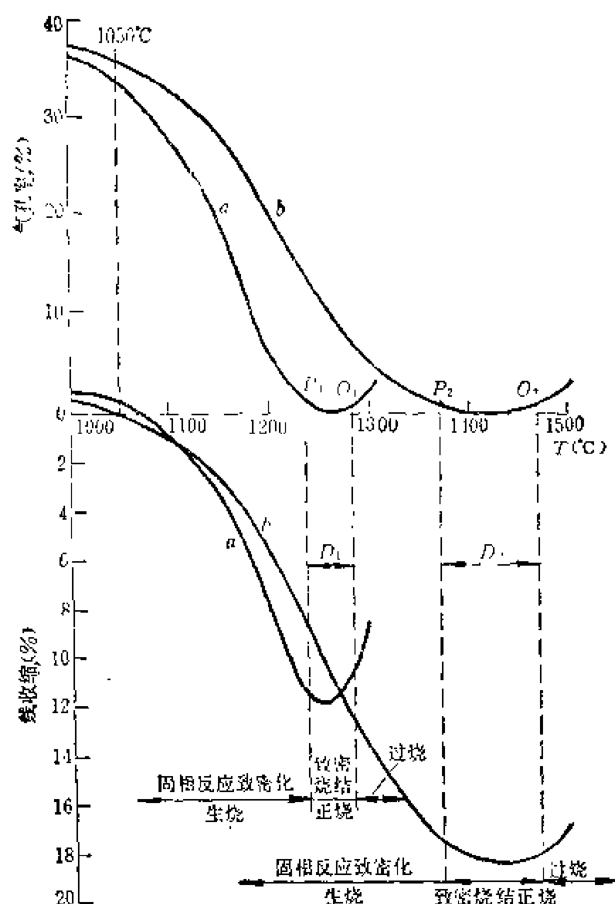


图 5-11　青瓷胎的两种典型加热收缩曲线

P_1P_2 致密烧结下限温度；O_1O_2 致密烧结上限温度；D_1D_2 致密烧结温度范围

效果。因此，整个瓷胎在受热过程中，从其膨胀收缩行为可以大体上看出它的致密化行为。通常，胎的受热胀缩行为如图 5-11 的典型曲线所示。一般，1050°C 为 SiO_2-Al_2O_3-$K_2O_{(Na_2O)}$ 系统液相开始出现的温度，从此温度继续上升，由于液相量的增加和固相反应的迅速进行，瓷胎急速收缩逐渐趋于致密化，一直达到最大收缩，瓷胎处于最大致密状态，完成了致密烧结的烧成过程。当继续升温时，瓷胎可保持一段温度范围的最大致密状态，如果瓷胎中玻璃相粘度随温度的增加而减小，由于胎中残留闭口气孔的胀大作用，瓷胎会随温度的升高产生膨胀现象，这就是瓷胎的"过烧"。从 1050°C 至最大收缩之间的温度范围随瓷胎成分的不同而有宽有窄，一般而论，烧结温度低的瓷胎，该温度范围窄，收缩随温度的变化速率则快；该温度范围宽的，烧结温度高，收缩速率也慢，表明各类青瓷胎在烧成加热过程中的致密化程度的变化是有快有慢的。北方瓷胎含 Al_2O_3 量高，熔剂氧化物含量低，其收缩速率随温度的变化较慢；南方青瓷胎的 Al_2O_3 含量低，熔剂氧化物含量高于北方青瓷胎，其收缩变化则快。实际烧成中，这一变化尚受到釉在加热过程中对胎的润湿、流动扩散和两者相互间反应的影响。图 5-11 中所示的两根曲线为瓷胎随温度变化时的气孔率和收缩率的变化。曲线 a 为快速收缩型瓷胎，如胎中熔剂含量多的越趋向于此种类型；b 为慢速收缩型瓷胎，高岭土含量高的瓷胎属此种类型。从曲线变化情况看，烧成主要分为三个温度阶段，即 P_1、P_2 温度前固相反应致密化进行的生烧收缩阶段；D_1、D_2 所示达到最大致密烧结的正烧恒定阶段；温度高于 O_1、O_2 的气孔膨大的反致密化的过烧膨胀阶段。各类青瓷瓷胎的致密烧结程度实际上是很不一致的，有的处于生烧，有的也处于过烧，这与窑位的温度分布不均有关。

青瓷釉受热后较胎的变化更为复杂，生釉和坯胎一样，也是由各种原料组成的聚集体，仅形态上的不同是附于胎的表面，而且釉中的熔剂性原料的比例也高，在加热过程中所产生的玻璃相量多，成为主要的组成。一般，在 1050°C 已开始有大量玻璃相生成，使生釉迅速固化而收缩，釉中熔剂的含量越高，玻璃相生成的速率越快，收缩越迅速。通常，在 100°C 至 200°C 的收缩温度范围内即可使釉中的气孔几乎大部排出，形成致密化层将胎表面封闭，若继续受热，则釉的玻化程度继续增加，被封闭在釉中的气泡逐渐汇集，并部分逸出釉层外。随着温度的上升，釉的粘度逐渐减小，至流动点温度时釉开始流动，釉的流动度则随温度的继续上升而加大，形成表面平滑的釉层。釉在高温下的粘度和流动度的变化常因所含熔剂氧

化物的成分而有差异，如釉中含 CaO 量高，其高温粘度和流动度随温度变化较大；含 K_2O 量高，其粘度和流动度随温度的变化率较小，故高钙质釉易于流釉，而钾-钙质釉和低钙质釉的烧成温度范围宽，不易流釉，就是这个原因。典型青瓷釉受热后收缩变化和流动行为示于图 5-12 中。图中示出了三种典型青瓷釉受热变化的比较。曲线中 S_1、S_2 和 S_3 所示的温度之前为釉料反应玻璃相生成的收缩阶段，M_1、M_2 和 M_3 为釉的熔融变化温度范围。T_1、T_2 和 T_3 为釉的流动温度，在此温度以上釉的流动随温度的上升而有不同变化。曲线 a 代表高钙质釉的变化。唐、五代以前的青瓷，大部分都属这种含钙量高的釉，一般含 CaO 量常在 15% 以上，这类釉在高温过程中收缩和气孔排出的变化十分迅速，由于高温粘度变化率大和相对流动度变化快，烧成不易控制，故唐代以前各窑区青瓷的质量特别好的数量不多，只有越窑青瓷在当时烧成技术水平较好，所烧青瓷质量是最高的。曲线 b 代表钾-钙质釉的变化。宋代以后，在青瓷釉的组成上逐渐提高了 K_2O 的含量，降低了 CaO 的含量，大部分青瓷釉中 CaO 含量在 8～15%，K_2O 含量在 3～5%。宋代各名窑青瓷，如官窑、钧窑、汝窑、耀州窑和部分龙泉窑青瓷，绝大部分都在这个范围。这也是一个很大的变化范围，CaO 含量偏高的青釉比较难烧，如汝官窑釉中含 CaO15% 左右，要烧制成功就极不容易。曲线 c 则是低钙质釉的加热变化。元、明以后，随着烧成温度的提高，部分青釉中 CaO 含量逐渐降低至 5～8%，其中有些 K_2O 含量亦低，如元代枢府窑釉含 CaO 为～6%，含 K_2O 为～3%；另一些则含 K_2O 较高，如传世哥窑釉含 K_2O 量为 4～5%；部分龙泉窑釉含 K_2O 量高达 6.5%。CaO 含量降低后，釉在高温的熔融温度范围变宽。容易使釉保持美丽的木光。

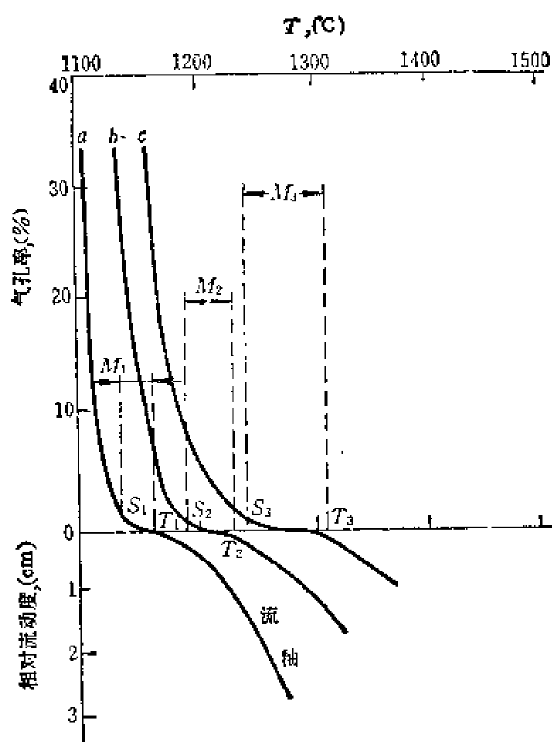
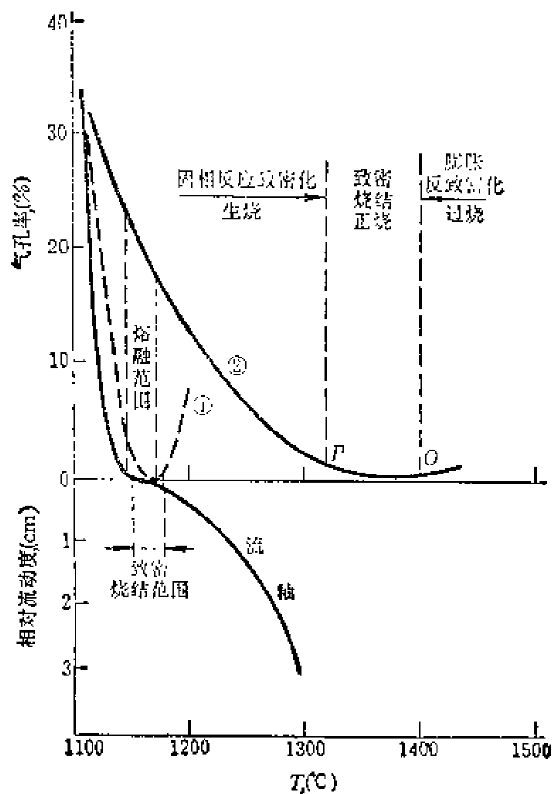


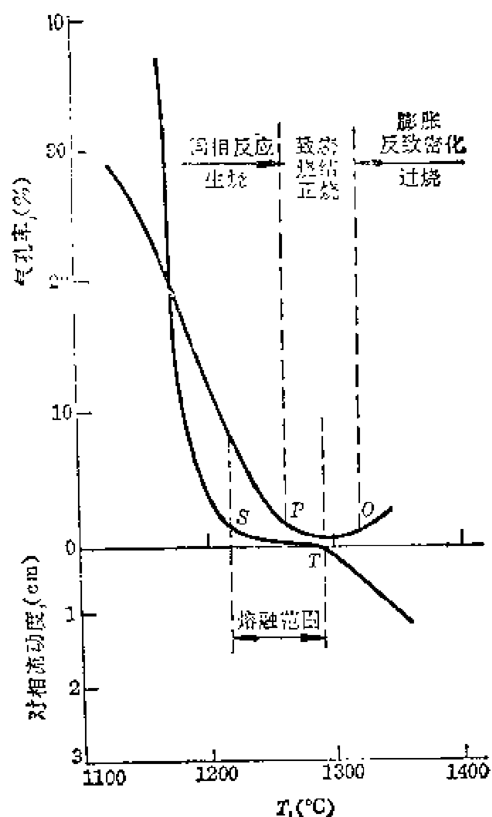
图 5-12　三类典型青瓷釉的受热后收缩和流动变化的示意图

a. 高钙质釉；b. 钾-钙质釉；c. 低钙质釉（$T_1T_2T_3$ 为流动点；$M_1M_2M_3$ 为熔融温度范围；$S_1S_2S_3$ 为熔融温度下限）

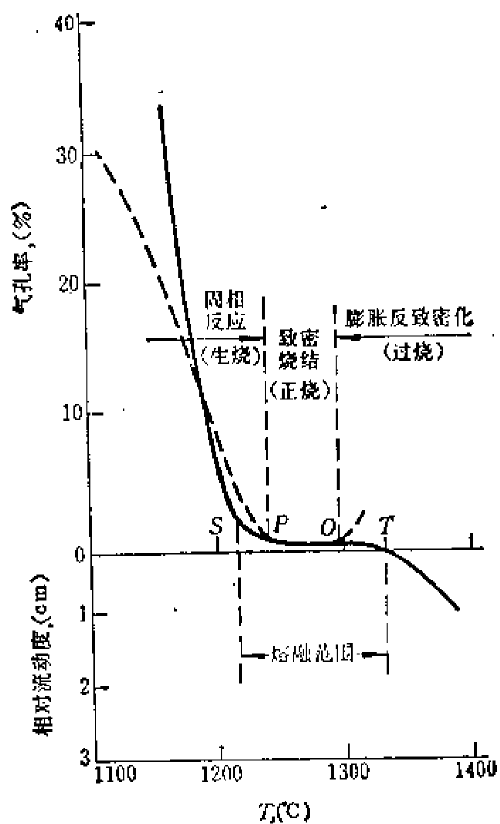
实际上，瓷器的胎和釉是结合在一起受热发生变化的，因此两者除发生上述受热后自身的变化之外，在受热过程中还有相互作用和影响。在胎、釉不同配合的情况下也会出现不同的效果。图 5-13 示出了几种典型的胎、釉配合情况下发生的变化。其中，图 (a) 为瓷胎烧结温度与釉的熔融温度均低或瓷胎烧结温度高于釉的熔融温度范围的情况。一般较早期的青瓷常出现前种情况，釉为高钙质釉，其熔融温度较低，熔融温度范围很窄，在高温下釉的粘度随着温度升高变化较大，高温下易于流釉，胎的烧结温度低，烧结温度范围窄，瓷器易于在烧成中过烧而变形。后者胎的烧结温度高，当釉已经熔融烧好后，胎仍然处在生烧状态，尚具有较高的气孔率，在烧结过程中大量的气孔由于胎的不断收缩而向已玻化的釉中排出，使釉中有大量气泡聚集，宋代的汝官窑青瓷即是这类胎、釉配合的典型例子。汝官窑青瓷的烧成温度为 1200°C 左右，釉在此温度下处于正烧状态，而胎却属于生烧，气孔率处于 10～



(a)



(b)



(c)

图 5-13　几种典型瓷胎和釉配合情况下受热的变化曲线

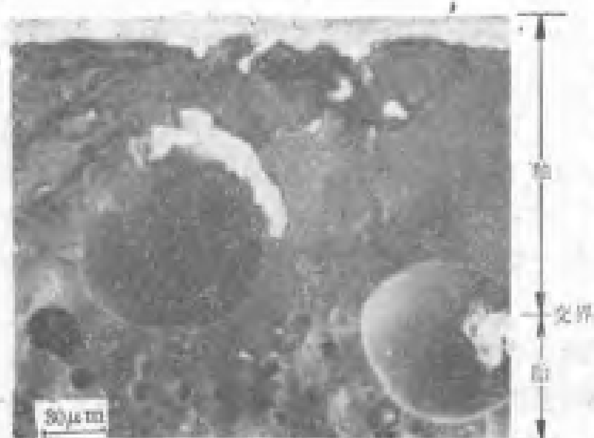
(a) 为瓷胎烧结温度和釉熔融温度均低和瓷胎烧结温度高与釉熔融温度低的配合的情况;
(b) 为瓷胎烧结温度和釉的熔融温度配合适宜的情况;
(c) 为瓷釉的熔融温度范围宽于胎的烧结温度范围

30%，胎中大量气孔在烧成过程中不断排向釉层，在釉中形成连续的微气泡层，它和釉中钙长石析出的微晶体组合形成主要散射源，使汝官窑青瓷具有很强的玉感效果。另外，胎的高气孔率对釉有吸附作用，从而减缓釉的流动度，使釉容易保持较宽温度范围的平整均匀。如此看来，这种胎釉不配合的情况如果利用得当，对釉的乳浊效果还会有好处的。图(b)为胎釉配合适宜的情况，一般属钾-钙质釉的许多青瓷釉多为此种情况。釉的熔融温度适中，釉的熔融温度范围也较高钙质釉宽。胎的烧结温度略高于釉的熔融温度，这类瓷胎多是以粘土为主稍加部分长石或以瓷石为主再加部分高岭土所组成。当胎接近致密烧结状态时，釉已熔融流平，釉到达正烧时，胎已达到完全烧结，显气孔率接近于零。如宋代官窑、龙泉窑、耀州窑、临汝窑等的大部分青瓷和景德镇的明、清青瓷都属这一类型的情况。其差别则是官窑和龙泉窑青瓷的烧成温度偏于熔融范围的下限温度，而耀州窑和临汝窑青瓷则偏于上限温度烧成，故官窑和龙泉窑青瓷中气泡的含量大于耀州窑和临汝窑，呈现一定的玉感，后者则成为透明釉。图(c)是瓷釉的熔融温度范围比胎的烧结温度范围宽的情况。这种情况比较少些，当釉中熔剂含量少时，如低钙质釉或低钙高钾质釉都符合此种情况。这种情况烧成的瓷釉多呈现木光的釉，如元代的枢府釉瓷，哥窑青瓷和部分龙泉窑青瓷多属此类情况，因为当瓷胎正烧时，釉多处于熔融温度的下限。

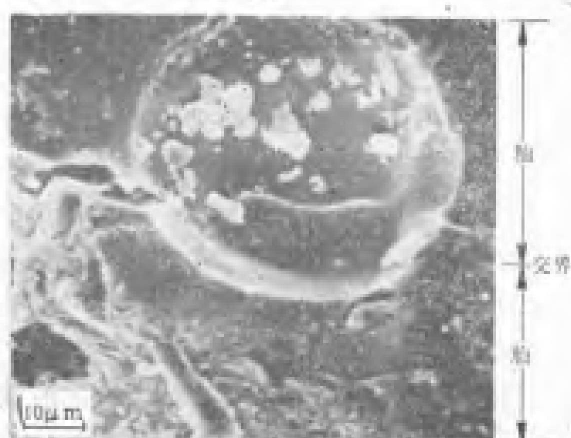
在胎、釉的受热过程中，不仅表现为体积收缩排除气孔的致密化行为和釉的熔融玻化行为，而且包括高温下的固相反应、溶解、扩散和析晶等复杂的变化；由于瓷器是非均质系统，其受热行为还受原料、配方和工艺影响亦很大。图 5-14 为几种青瓷的扫描电子显微镜照片，其中，有唐代浙江余姚越窑青瓷和五代的浙江临海窑和鄞县(今宁波)窑青瓷；宋代河南内乡窑和临汝窑青瓷；宋代广东惠州窑头山窑青瓷，从照片中可以看到气泡从瓷胎向釉中扩散和排出的情况。如在鄞县窑、余姚越窑和惠州窑头山窑青瓷的胎釉交界层和胎中都可以看到很多尺寸很小的气泡，当气泡扩散至釉中，其尺寸成倍增大，甚至大到几十倍。因为这几种釉都是高钙质釉，釉在高温下的粘度远小于胎釉交界处和胎中玻璃相的粘度，因此当气泡一旦穿出胎釉交界层，其体积立即变大。图中，照片(2)和(6)中示出的大气泡正自胎、釉交界处冲向釉中的状态可以看出其体积变大的情况。照片(3)为内乡青瓷形貌，该青瓷釉中 CaO 含量为 9.46%，K_2O 含量为 2.51%，MgO 为 1.51%，Na_2O 为 0.21%；胎中 Al_2O_3 含量为 28.61%，K_2O 为 1.40%。釉中 CaO 含量属中等，总熔剂氧化物含量亦低于高钙质青瓷釉中的含量，但其胎中的含铝量高，釉虽已透明，而胎仍有 3% 的显气孔率，照相中亦显示出胎中气泡向釉中扩散情况。照片(4)为临汝青瓷的形貌，其情况与内乡青瓷相仿，只是瓷胎尚处于 11% 显气孔率的状态，釉中 K_2O、Na_2O 含量略高于内乡青瓷釉，亦可明显看到来自胎中的小气泡存在于胎釉交界处。

六、胎、釉中间层

青瓷中出现胎、釉中间层是明显的，特别是北方诸窑的青瓷，诸如汝窑、耀州窑和钧窑青瓷，中间层更加显而易见。所谓中间层乃是指胎、釉之间的一层反应层，过去常有人把青瓷胎、釉中存在的这层白色反应层误认为是化妆土层，经研究分析证实，该层并非化妆土所形成，它确是胎、釉在高温下经相互作用形成的反应层。一般，大多数反应层均呈白色，有时因气氛的关系而呈现土黄色或深黑色。如在釉层熔融封闭气孔之前烧强氧化气氛，胎往往由于其中 Fe^{3+} 离子的存在而呈黄色；如在此阶段烧强还原性气氛，常因碳素的沉积而形成黑



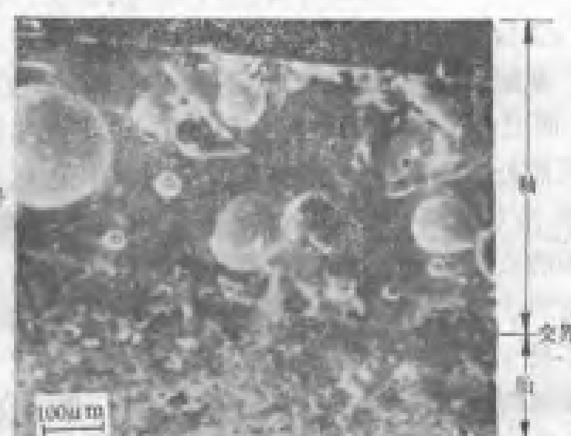
(1) 浙江余姚越窑青瓷(唐)×300



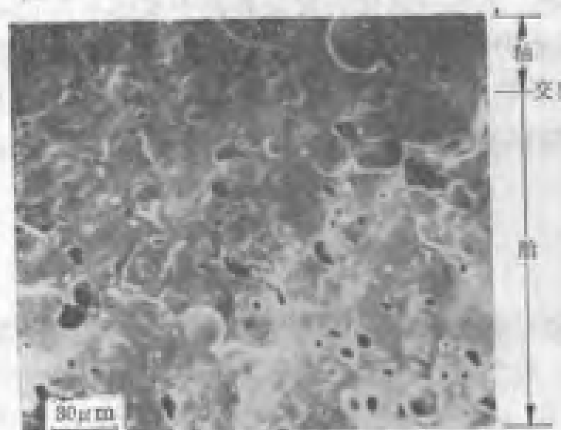
(2) 浙江临海窑青瓷(五代)×1000



(3) 河南内乡窑青瓷(宋)×100



(4) 河南临汝窑青瓷(宋)×300



(5) 胎釉交界及胎浙江鄞县窑青瓷(五代)×300



(6) 广东惠州窑头山窑青瓷(宋)×300

图5-14 几种青瓷的扫描电镜的结构形貌照相

色反应层。如果青瓷在弱还原气氛中烧成，则形成白色，临汝窑和耀州窑以白色中间层居多。中间层的颜色所以变为白色的原因之一是在中间层发生了氧化反应。在反应过程中，随着温度的提高，瓷釉熔融且越来越多地浸入胎中，其中一部分沉积的碳素扩散到釉中，另一部分碳素与来自胎收缩时排出并积聚在胎、釉边界上的氧发生反应，生成二氧化碳。同时，一部分剩余的氧与部分 Fe^{2+} 和 Ti^{3+} 起反应生成 Fe^{3+} 和 Ti^{4+}。最后通过一系列反应形成"清洁的白色致密区——"胎-釉中间层"。中间层厚一般为 0.15～0.3mm，其中，在靠近釉的一边，则形成了厚度约为 0.02～0.03mm 的钙长石晶体层，其厚度约为反应中间层的 1/10，该结晶层的存在对青瓷釉的色调也会起到一定的影响。表 5-14 和表 5-15 列出了几个青瓷胎-釉中间层的化学分析的实例。从分析数据可以看出胎-釉中间层的氧化属性。所有青瓷胎中的 $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ 比值均高，釉中的比值居中，而中间反应层的比值最低。所以，中间反应层中所发生的相互作用基本包括：$C+O_2 \longrightarrow CO_2$；$2Fe^{2+}+O_2 \longrightarrow 2Fe^{3+}$ 和 $2Ti^{3+}+O_2 \longrightarrow 2Ti^{4+}$ 等几种主要化学反应。该反应的过程可简单示意于图 5-15。

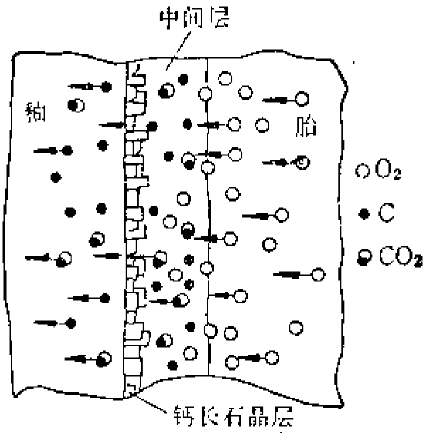


图 5-15 胎、釉中间层的氧化过程示意图

表 5-14 青瓷胎-釉中间层的化学组成和特征

名称和编号		氧化物含量（%）									颜色	厚度 (mm)	晶体层厚度 (mm)
		SiO_2	Al_2O_3	CaO (MgO)	K_2O (Na_2O)	Fe_2O_3* (FeO)	TiO_2	P_2O_5	C	总计			
汝钧 RJ-2		64.81	24.08	1.12 (0.48)	3.37 (1.22)	2.63 (1.17)	1.14	0.16	0.26	99.27	深黑	0.3	0.03
临汝 LR-4		64.38	26.87	1.35 (0.34)	3.59 (1.29)	1.65 (0.56)	0.88	0.14		100.49	白	0.2	0.03
耀州窑	Y-3	62.86	23.64	2.30 (0.56)	3.10 (0.28)	1.48 (0.45)	1.23	0.16		100.61	白	0.15	0.02
耀州窑	Y-4	71.21	18.38	2.89 (0.55)	2.81 (0.26)	1.11 (0.17)	0.70	0.17		98.08	白	0.15	0.02

* Fe_2O_3 所示的数值为 FeO 和 Fe_2O_3 总量。

南方青瓷，如龙泉青瓷、哥窑青瓷、越窑青瓷以及景德镇仿制的哥窑和官窑青瓷，其中间层的层次不及北方青瓷分明，此乃是与烧成过程中的气氛变化、烧成和冷却温度的快、慢以及保温时间的长短均有关系。

从中国瓷器的整个发展历程来看，青瓷发展延续的时间最长，衍生出来的种类也最多，在各名瓷中占的比重也最大。因为利用天然原料中普遍存在的铁离子作为着色剂便于取材，而且在艺术上可以达到如玉的效果，为人们所喜爱；在工艺技术上经过了长期的经验积累，在胎釉取料、配合以及原料加工精制、施釉和烧成等技术方面都有所创新，形成了我国南、北方青瓷系统各具特色的流传于世的各种名窑青瓷。

表 5-15 汝钧、临汝和耀州窑青瓷胎、釉和中间层中含 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的分析

名称和编号		FeO (m%)	FeO+Fe_2O_3 (m%)	$\frac{Fe^{2+}}{Fe^{2+}+Fe^{3+}}$	名称和编号		FeO (m%)	FeO+Fe_2O_3 (m%)	$\frac{Fe^{2+}}{Fe^{2+}+Fe^{3+}}$
汝钧 (RJ-2)	胎	3.05	4.05	0.77	耀州 (Y-3)	胎	1.36	1.76	0.79
	釉	1.53	2.19	0.72		釉	1.16	1.82	0.66
	中间层	1.17	2.63	0.47		中间层	0.45	1.43	0.33
临汝 (LR-4)	胎	1.23	1.75	0.73	耀州 (Y-4)	胎	1.30	1.71	0.78
	釉	0.82	1.62	0.52		釉	0.58	1.43	0.43
	中间层	0.56	1.65	0.36		中间层	0.17	1.11	0.17

参 考 文 献

[1] 郭演仪、王寿英、陈尧成,"中国历代南北方青瓷的研究",硅酸盐学报 8[3]232～243(1980)

[2] 张福康,"中国传统高温釉的起源",中国古代陶瓷科学技术国际讨论会论文,1982 年 11 月,上海

[3] 叶宏明等,"南宋官窑青瓷的研究",硅酸盐学报,11[1], 19～32, (1983)

[4] 周仁等,"历代龙泉青瓷烧制工艺的科学总结",考古学报[1], 135(1973)

[5] 陈显求等,"南宋郊坛官窑与龙泉哥窑的陶瓷学基础研究",中国古陶瓷科学技术国际讨论会论文, 1982 年 11 月,上海

[6] 何浩庄等,"北宋官窑青瓷的研究和试制",第二届中国古陶瓷科学技术国际讨论会论文, 1985 年 11 月,北京

[7] 陈显求等,"元大都哥窑型和青瓷残片的显微结构",硅酸盐学报,8[2], 148～158.(1980)

[8] 周仁等,关于传世"宋哥窑烧造地点的初步研究",文物,第 6 期,(1964)

[9] 周仁等,"中国历代名窑陶瓷工艺初步科学总结",考古学报,[1](1960)

[10] 郭演仪等,"宋代汝、耀州窑青瓷的研究",硅酸盐学报,12[2] 226～235, (1984)

[11] 李国桢等,"耀州青瓷的研究",硅酸盐学报,7[4], 360～369, (1979)

[12] 郭演仪等,"元大都发掘的青花和影青瓷",考古,总 178 期,[1], 96～102, (1982)

[13] Robert Tichane, «THOSE CELADON BLUES»Pubished by The New York state Institute for Glass Research,Copyright 1978 by Robert Tichane

第六章　历代南北方白瓷

SOUTHERN AND NORTHERN WHITE PORCELAINS OF SUCCESSIVE DYNASTIES

一、历史概述和白瓷特征

我国白瓷虽然出现较青瓷晚，但对我国陶瓷的发展却产生了巨大和深远的影响，特别对推动日用白瓷彩饰的发展尤为显著，是我国陶瓷领域中一个重要的分支。

白瓷的出现，一般是根据河南省博物馆1972年在河南安阳北齐武平6年（公元573年）范粹墓中出土的北朝白瓷作为起点[1]，尽管这批白瓷的白度和胎的致密度等性能指标还不高，但与以往的瓷器相比，它是奠定早期白瓷的萌芽。

隋、唐时期，由于政权统一、经济繁荣，陶瓷业得到空前发展，白瓷质量亦有显著提高，不仅质地坚硬，且釉面洁白光润。从1959年中国科学院考古研究所[2]在安阳发掘一座隋开皇15年（公元595年）的张盛墓中的一批白瓷以及随后在西安郊区隋大业4年（公元608年）李静训墓中出土的白瓷来看，其质量较前更佳。然而，白瓷真正的成熟阶段乃是在唐代，我国的北方如河北、河南、陕西、山西诸省已成为当时生产白瓷的中心，不仅生产地区较多，而且质量也高，如河北的邢窑、曲阳窑，河南的巩县窑、密县窑、登封窑、郏县窑，陕西的耀州窑，山西的介休、平定、浑源等窑，均曾大量生产过白瓷。其中尤以邢窑和巩县窑的产品质量更为突出，故在唐代，曾有北白南青之势，即有邢白越青之称。

及至宋代，由于政治上更加统一，社会更趋稳定，经济和手工业发达，白瓷的生产在唐代的基础上又有新的发展，除北方主要产瓷地继续生产白瓷外，加之宋室封建统治者提倡和爱好，许多名窑改为官窑，专烧造贡瓷以提供统治者的赏用，因此，所谓定、汝、官、哥、钧五大名窑应运而生，各具特色。在白瓷中，除创制出定窑的白瓷刻花、印花等新的装饰外还有磁州窑的白地黑花彩饰。把陶瓷的工艺技术和艺术紧密地结合起来，可以说是我国陶瓷发展史上一个空前未有的划时代时期。

北宋南迁后，由于战乱原因，北方许多陶瓷业已日渐衰落和停闭，而南方的瓷业如浙江龙泉、江西景德镇以及福建德化的瓷器生产则相继日益蓬勃发展，至元、明、清时期，尤其是景德镇和德化已成为我国制瓷的重点地区。景德镇在继承宋代白瓷基础上又创制了釉下、釉上装饰的彩瓷，同时还仿制了历史上许多名瓷，并有所创新，随之形成为我国最大的制瓷中心而闻名于世界。德化白瓷宋代已有生产，由于原料得天独厚的纯净，在明代创制了莹白如脂的"猪油白"瓷，加上高超的雕塑技艺，在国际上享有"东方艺术"的美称。

总之，我国白瓷的出现尽管较青瓷为晚，但它所涉及的内容以及对国外瓷器的发展和影响却是巨大的。

我国白瓷从隋、唐开始，迄今已约有1400年的历史，大量的科学研究表明，它的科学和工艺基础是以硅酸盐化学为主，即以天然的粘土矿物为主，经过成型和高温烧成而形成具有一定硬度、白度、机械强度和耐腐蚀性能的坚硬器物，其内在的变化遵循硅酸盐受热后发生

的高温物理化学的变化规律。

白瓷胎、釉的化学组成列于表6-1和表6-2中，其分子式分布如图6-1和图6-2所示。根据表、图所示，邢窑、巩县窑、定窑胎的化学组成中，Al_2O_3的含量均在28～37%之间，故在图6-2中均分布在高铝区，说明北方诸窑的白瓷胎是采用一种或两种粘土所组成。景德镇窑在五代和宋代时期白瓷胎的特点是硅高（SiO_2 73～78%）铝低（Al_2O_3 16～19%），元代的胎中SiO_2含量在72～75%、Al_2O_3 20～21%之间，故其组成均分布在高硅区。至明、清时期，白瓷胎内由于SiO_2的含量逐渐降低（约65～73%）、Al_2O_3的含量逐渐提高（20～27%），故介于高铝区与高硅区之间，由此说明，景德镇窑的瓷胎在五代和宋代时期是采用一类瓷石原料制成，元、明、清时期是采用瓷石和高岭土所组成[3]。德化窑的瓷胎自北宋、元、明、清以来，一直是高硅低铝，SiO_2的含量为71～80%，Al_2O_3含量在16～21%之间，瓷胎的组成均分布在高硅区，其组成与德化附近的瓷石相似，故瓷胎是采用瓷石类原料制成的。

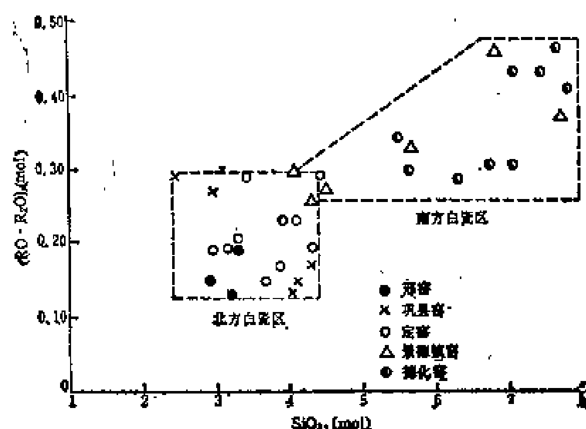


图6-1　历代南北方白瓷胎的组成分布

邢窑和巩县窑白釉的化学成分极相似，SiO_2的含量为60～69%，Al_2O_3的含量为14～19%，CaO的含量为7～15%之间，一般属于CaO-Al_2O_3-SiO_2系统，应称之为灰釉，但其中定窑的釉中CaO含量较巩县窑低，且MgO含量接近CaO，属于CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2系统，故称为镁-灰釉。景德镇的釉，五代、宋代、元、明、清白釉的化学组成虽然均属于K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2系统，通称为碱-灰釉，但五代、宋代的白釉与元、明、清时期的白釉相比，还有较明显的差别，前者含CaO高、K_2O低；后者K_2O增高、CaO降低，由此推知五代与宋代的白瓷釉采用当地瓷石与釉灰的配制比例与元、明、清时期的比例不同，即釉果与釉灰配制用量的变化规律与青釉相似。

总之，我国南北方白瓷的胎釉，由于使用原料和烧成工艺的不同，其产品各具有特色，具体情况拟分述于后。

二、邢窑

唐邢窑白瓷始于隋，盛于唐，衰于元，在我国陶瓷发展史上占有重要的地位，它与唐代的越窑并驾齐驱，惟邢窑类银如雪，越窑青翠如玉，故形成南青北白相峙的局面。邢窑遂成为北方白瓷的代表，但这一历史名瓷自晚唐、五代时期后已日渐衰落，长期以来仅存于文献史籍记载之中，一直未被发现，成为我国陶瓷和文物考古学家密切关心和注

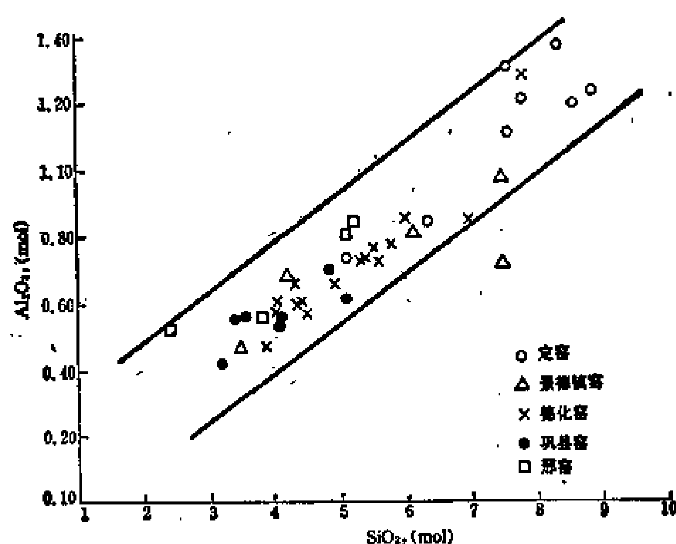


图6-2　历代南北方白瓷釉的组成分布

表 6-1　历代南北方白瓷胎的化学组成表

名　称	历史年代	化学成分(%)												化学分子式	备注
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	烧失	总量		
邢窑白瓷残片	唐代	67.64	28.52	0.75	0.39	0.61	0.74	0.75	0.20	—	0.05	0.47	100.12	$\left.\begin{matrix}0.104RO\\0.046R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.10Si_2O\left\{\begin{matrix}0.018Fe_2O_3\\0.018TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷残片	唐代	59.98	35.12	0.68	0.69	0.99	0.44	1.52	0.48	0.04	0.11	0.15	100.20	$\left.\begin{matrix}0.080RO\\0.075R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot2.90SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.025TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷残片	唐代	60.44	34.50	0.65	0.59	0.69	0.64	1.28	0.24	0.04	0.09	0.89	100.05	$\left.\begin{matrix}0.079RO\\0.053R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.00SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.020TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷残片	唐代	62.85	32.36	0.61	0.57	1.11	0.71	1.32	0.62	—	0.05	—	99.56	$\left.\begin{matrix}0.116RO\\0.076R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.30SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.022TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩县窑白瓷残片	唐代	67.73	26.78	0.59	1.31	0.39	0.42	2.11	0.50	—	0.04	0.76	100.62	$\left.\begin{matrix}0.063RO\\0.114R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.30SiO_2\left\{\begin{matrix}0.140Fe_2O_3\\0.070TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩县窑白瓷残片	唐代	53.41	37.15	0.65	0.80	0.55	0.41	5.05	2.10	—	0.04	0.03	100.19	$\left.\begin{matrix}0.054RO\\0.241R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot2.45SiO_2\left\{\begin{matrix}0.011Fe_2O_3\\0.027TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩县窑白瓷残片	唐代	66.46	28.01	0.50	1.23	0.23	0.37	1.80	0.44	—	0.06	0.45	99.55	$\left.\begin{matrix}0.047RO\\0.092R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.03SiO_2\left\{\begin{matrix}0.011Fe_2O_3\\0.054TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩县窑白瓷残片	唐代	56.24	34.73	0.51	0.72	0.64	0.41	4.77	1.52	—	0.03	—	99.57	$\left.\begin{matrix}0.061RO\\0.217R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot2.80SiO_2\left\{\begin{matrix}0.009Fe_2O_3\\0.024TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	唐代	59.82	34.53	0.69	0.39	1.09	0.91	1.25	0.71	0.03	—	—	99.42	$\left.\begin{matrix}0.123RO\\0.070R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot2.94SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.014TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	唐代	59.79	29.95	0.93	0.40	4.82	0.87	1.72	1.11	—	0.10	—	99.69	$\left.\begin{matrix}0.368RO\\0.122R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.40SiO_2\left\{\begin{matrix}0.020Fe_2O_3\\0.017TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	五代	61.23	32.90	0.59	0.58	3.36	0.92	1.25	0.13	0.02	—	—	100.98	$\left.\begin{matrix}0.089RO\\0.105R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.16SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.022TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	北宋	62.05	31.03	0.88	0.53	2.16	1.07	1.01	0.75	0.04	—	—	99.52	$\left.\begin{matrix}0.216RO\\0.075R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.40SiO_2\left\{\begin{matrix}0.019Fe_2O_3\\0.019TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	北宋	65.63	28.22	1.04	0.86	1.00	0.70	1.77	0.55	—	0.07	—	99.81	$\left.\begin{matrix}0.130RO\\0.101R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.95SiO_2\left\{\begin{matrix}0.025Fe_2O_3\\0.036TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	北宋	65.72	27.34	1.00	1.07	1.51	0.46	2.05	0.23	—	0.04	—	99.42	$\left.\begin{matrix}0.146RO\\0.097R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.08SiO_2\left\{\begin{matrix}0.022Fe_2O_3\\0.049TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷残片	金代	59.25	32.73	0.66	0.75	0.83	1.13	1.67	0.29	0.01	—	—	97.32	$\left.\begin{matrix}0.132RO\\0.070R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.08SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.028TiO_2\end{matrix}\right.$	
磁州窑白瓷残片	北宋	60.60	27.97	2.83	1.49	0.30	0.50	1.91	0.36	—	—	—	95.96	$\left.\begin{matrix}0.062RO\\0.092R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.68SiO_2\left\{\begin{matrix}0.061Fe_2O_3\\0.068TiO_2\end{matrix}\right.$	
鹤壁窑白瓷	北宋	60.15	26.85	7.02	1.30	0.96	0.50	1.16	0.18	—	—	—	98.14	$\left.\begin{matrix}0.113RO\\0.076R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.81SiO_2\left\{\begin{matrix}0.167Fe_2O_3\\0.062TiO_2\end{matrix}\right.$	
扒村窑白瓷残片	北宋	63.63	24.90	3.53	1.04	0.46	0.58	2.22	0.25	—	—	—	96.61	$\left.\begin{matrix}0.084RO\\0.113R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.34SiO_2\left\{\begin{matrix}0.090Fe_2O_3\\0.053TiO_2\end{matrix}\right.$	
当阳峪窑白瓷残片	北宋	53.51	32.20	6.98	1.82	1.28	0.50	0.97	0.24	—	—	—	97.41	$\left.\begin{matrix}0.113RO\\0.053R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot2.82SiO_2\left\{\begin{matrix}0.136Fe_2O_3\\0.073TiO_2\end{matrix}\right.$	

续

名称	历史年代	化学成分(%) SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	CaO	MgO	K₂O	Na₂O	MnO	P₂O₅	烧失	总量	化学分子式	备注
吉州窑白瓷残片	北宋	59.82	27.90	1.53	1.07	0.06	0.28	5.32	0.36	—	—	—	96.34	$\left.\begin{matrix}0.028RO\\0.231R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot3.65SiO_2\left\{\begin{matrix}0.040Fe_2O_3\\0.047TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇	唐代	77.48	16.93	0.77	—	0.80	0.51	2.63	0.35	0.14	—	—	99.58	$\left.\begin{matrix}0.162RO\\0.205R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.78SiO_2\left\{\begin{matrix}0.030Fe_2O_3\\—TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷胎	宋代	74.70	18.65	0.96	0.03	1.01	0.50	2.79	1.49	0.08	—	—	100.21	$\left.\begin{matrix}0.169RO\\0.295R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot6.80SiO_2\left\{\begin{matrix}0.033Fe_2O_3\\0.002TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷胎	元代	72.28	21.83	0.91	0.20	0.93	0.28	3.25	0.78	—	—	—	100.46	$\left.\begin{matrix}0.108RO\\0.224R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot5.63SiO_2\left\{\begin{matrix}0.028Fe_2O_3\\0.014TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷胎	元代	72.14	20.56	1.72	—	0.54	0.16	2.44	2.28	—	—	—	99.84		
景德镇白瓷胎	元代	74.29	20.66	0.69	—	0.31	0.19	2.40	1.63	—	—	—	100.40		
景德镇白瓷胎	明代	68.30	25.61	0.90	0.68	0.80	0.24	2.99	1.00	0.02	—	—	99.94	$\left.\begin{matrix}0.080RO\\0.191R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.53SiO_2\left\{\begin{matrix}0.024Fe_2O_3\\0.032TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷胎	清代	66.67	26.25	0.91	0.07	1.25	0.33	2.56	2.15	—	—	—	100.02	$\left.\begin{matrix}0.117RO\\0.140R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.33SiO_2\left\{\begin{matrix}0.023Fe_2O_3\\0.004TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷胎	清代	66.27	27.42	0.77	—	1.36	0.13	3.07	1.29	—	—	—	100.31	$\left.\begin{matrix}0.100RO\\0.197R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot4.11SiO_2\left\{\begin{matrix}0.019Fe_2O_3\\—TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	北宋	71.76	21.76	0.64	—	0.33	0.18	5.16	0.08	—	0.03	—	99.94	$\left.\begin{matrix}0.046RO\\0.267R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot5.61SiO_2\left\{\begin{matrix}0.018Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	北宋	74.51	21.42	1.12	—	0.15	0.22	2.75	0.06	—	0.02	—	100.25	$\left.\begin{matrix}0.042RO\\0.143R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot5.91SiO_2\left\{\begin{matrix}0.033Fe_2O_3\\—TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	南宋	77.08	18.47	0.42	0.03	0.17	0.17	4.45	0.10	—	0.03	—	100.92	$\left.\begin{matrix}0.039RO\\0.264R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.10SiO_2\left\{\begin{matrix}0.017Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	元代	72.69	20.68	0.55	0.18	0.17	0.14	5.82	0.10	—	0.02	—	100.55	$\left.\begin{matrix}0.030RO\\0.309R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot5.47SiO_2\left\{\begin{matrix}0.015Fe_2O_3\\0.010TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	元代	75.33	19.12	0.37	0.08	0.17	0.10	5.00	0.09	—	0.02	—	100.28	$\left.\begin{matrix}0.026RO\\0.288R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot6.71SiO_2\left\{\begin{matrix}0.005Fe_2O_3\\0.005TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	元代	75.19	20.13	0.39	—	0.24	0.16	4.37	0.10	—	0.01	—	100.59	$\left.\begin{matrix}0.040RO\\0.238R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot6.36SiO_2\left\{\begin{matrix}0.010Fe_2O_3\\—TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	明代	76.74	16.76	0.35	0.10	0.15	0.08	5.94	0.13	—	0.03	—	100.38	$\left.\begin{matrix}0.024RO\\0.390R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.80SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.006TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	明代	75.63	17.29	0.18	0.13	0.04	0.10	6.51	0.13	—	0.02	—	100.13	$\left.\begin{matrix}0.018RO\\0.417R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.41SiO_2\left\{\begin{matrix}0.006Fe_2O_3\\0.012TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	清代	75.88	16.91	0.38	0.10	0.06	0.08	6.14	0.38	—	0.02	—	100.01	$\left.\begin{matrix}0.018RO\\0.442R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.62SiO_2\left\{\begin{matrix}0.012Fe_2O_3\\0.024TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷胎	清代	75.00	18.01	0.32	0.09	0.02	0.08	6.76	0.15	—	0.02	—	100.45	$\left.\begin{matrix}0.012RO\\0.417R_2O\end{matrix}\right\}Al_2O_3\cdot7.06SiO_2\left\{\begin{matrix}0.011Fe_2O_3\\0.006TiO_2\end{matrix}\right.$	

表 6-2　历代南北方白瓷釉的化学组成表

名　称	历史年代	化学成分 (%)												化学分子式	备注
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	烧失	总量		
邢窑白瓷釉	唐代	68.26	18.40	0.77	—	7.91	2.48	1.08	0.45	—	—	—	99.35	$\left.\begin{matrix}0.914RO\\0.086R_2O\end{matrix}\right\}0.811Al_2O_3 5.13SiO_2\left\{\begin{matrix}0.023Fe_2O_3\\-\ TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷釉	唐代	68.31	18.12	0.88	0.11	6.97	2.17	2.03	0.79	0.12	—	—	99.50	$\left.\begin{matrix}0.830RO\\0.170R_2O\end{matrix}\right\}0.828Al_2O_3 5.30SiO_2\left\{\begin{matrix}0.028Fe_2O_3\\0.005TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷釉	唐代	65.09	16.55	0.52	0.07	11.34	2.75	0.96	0.60	0.09	—	—	97.97	$\left.\begin{matrix}0.934RO\\0.066R_2O\end{matrix}\right\}0.555Al_2O_3 3.72SiO_2\left\{\begin{matrix}0.010Fe_2O_3\\0.003TiO_2\end{matrix}\right.$	
邢窑白瓷釉	唐代	60.00	18.53	0.55	0.15	15.55	1.96	1.14	0.37	0.06	—	—	98.31	$\left.\begin{matrix}0.948RO\\0.052R_2O\end{matrix}\right\}0.526Al_2O_3 2.89SiO_2\left\{\begin{matrix}0.009Fe_2O_3\\0.006TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩窑白瓷釉	唐代	64.65	13.90	0.84	0.16	12.29	1.89	2.97	2.17	—	—	—	[illegible]	$\left.\begin{matrix}0.799RO\\0.201R_2O\end{matrix}\right\}0.408Al_2O_3 3.24SiO_2\left\{\begin{matrix}0.015Fe_2O_3\\0.005TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩窑白瓷釉	唐代	62.51	17.03	0.74	—	10.36	1.07	4.07	2.14	-	—	—	98.10	$\left.\begin{matrix}0.731RO\\0.269R_2O\end{matrix}\right\}0.576Al_2O_3 3.59SiO_2\left\{\begin{matrix}0.017Fe_2O_3\\-\ TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩窑白瓷釉	唐代	62.87	17.85	0.78	0.32	12.18	2.03	1.74	1.03	—	—	—	98.80	$\left.\begin{matrix}0.882RO\\0.118R_2O\end{matrix}\right\}0.574Al_2O_3 3.44SiO_2\left\{\begin{matrix}0.016Fe_2O_3\\0.013TiO_2\end{matrix}\right.$	
巩窑白瓷釉	唐代	69.99	17.04	0.47	0.33	3.30	4.14	2.86	2.79	0.12	—	—	101.04	$\left.\begin{matrix}0.687RO\\0.313R_2O\end{matrix}\right\}0.696Al_2O_3 4.86SiO_2\left\{\begin{matrix}0.013Fe_2O_3\\0.017TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	唐代	73.79	17.27	0.52	0.11	2.89	2.15	1.56	1.26	0.04	—	—	99.59	$\left.\begin{matrix}0.745RO\\0.255R_2O\end{matrix}\right\}1.182Al_2O_3 8.60SiO_2\left\{\begin{matrix}0.021Fe_2O_3\\0.007TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	唐代	71.57	16.18	0.77	—	5.72	1.74	2.29	1.22	—	—	—	99.49	$\left.\begin{matrix}0.769RO\\0.231R_2O\end{matrix}\right\}0.837Al_2O_3 6.28SiO_2\left\{\begin{matrix}0.026Fe_2O_3\\0.042TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	五代	74.57	17.53	0.54	0.17	2.74	2.33	2.03	0.62	0.02	0.17	—	100.72	$\left.\begin{matrix}0.772RO\\0.228R_2O\end{matrix}\right\}1.237Al_2O_3\cdot 8.94SiO_2\left\{\begin{matrix}0.022Fe_2O_3\\0.014TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	北宋	72.14	17.52	0.75	0.19	3.92	2.32	1.97	0.48	0.03	0.32	—	99.61	$\left.\begin{matrix}0.815RO\\0.185R_2O\end{matrix}\right\}1.096Al_2O_3\cdot 7.66SiO_2\left\{\begin{matrix}0.032Fe_2O_3\\0.013TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	北宋	68.90	20.02	1.06	—	3.77	2.09	2.40	0.36	—	—	—	98.60	$\left.\begin{matrix}0.788RO\\0.212R_2O\end{matrix}\right\}1.298Al_2O_3\cdot 7.60SiO_2\left\{\begin{matrix}0.046Fe_2O_3\\0.--\ TiO_2\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	北宋	70.60	18.50	0.97	—	3.79	2.06	2.43	0.28	—	—	—	98.63	$\left.\begin{matrix}0.[illegible]RO\\0.205R_2O\end{matrix}\right\}1.20Al_2O_3\cdot 7.80SiO_2\left\{\begin{matrix}0.0[illegible]Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
定窑白瓷釉	金代	71.18	19.66	0.61	0.45	4.45	1.62	1.63	0.27	—	—	—	[illegible]	$\left.\begin{matrix}0.844RO\\0.156R_2O\end{matrix}\right\}1.370Al_2O_3\cdot 8.41SiO_2\left\{\begin{matrix}0.028Fe_2O_3\\0.043TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷釉	唐代	68.77	15.47	0.73	0.04	10.92	1.16	2.60	0.24	0.23	—	—	100.16	$\left.\begin{matrix}0.877RO\\0.1[illegible]R_2O\end{matrix}\right\}0.537Al_2O_3\cdot 4.43SiO_2\left\{\begin{matrix}0.019Fe_2O_3\\0.002TiO_2\end{matrix}\right.$	

续

名称	历史年代	化学成分(%)												化学分子式	备注
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	烧失	总量		
景德镇白瓷釉	宋代	66.68	14.80	0.99	—	14.87	0.26	2.06	1.22	0.10	—	—	100.48	$\left.\begin{matrix}0.867RO\\0.133R_2O\end{matrix}\right\}0.443Al_2O_3\cdot 3.52SiO_2\left\{\begin{matrix}0.019Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷釉	元代	69.58	14.91	0.94	0.10	7.36	0.16	5.46	1.70	0.03	—	—	100.21	$\left.\begin{matrix}0.616RO\\0.384R_2O\end{matrix}\right\}0.664Al_2O_3\cdot 5.27SiO_2\left\{\begin{matrix}0.027Fe_2O_3\\0.005TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷釉	明代	69.60	15.45	1.00	—	7.50	—	4.98	1.85	0.03	—	—	100.36	$\left.\begin{matrix}0.621RO\\0.379R_2O\end{matrix}\right\}0.698Al_2O_3\cdot 5.36SiO_2\left\{\begin{matrix}0.028Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷釉	清代	76.79	14.94	0.97	—	5.47	0.75	3.16	2.63	0.13	—	—	98.90	$\left.\begin{matrix}0.610RO\\0.390R_2O\end{matrix}\right\}0.749Al_2O_3\cdot 6.05SiO_2\left\{\begin{matrix}0.031Fe_2O_3\\0.005TiO_2\end{matrix}\right.$	
景德镇白瓷釉	清代	67.92	15.66	1.22	—	7.11	1.06	4.11	2.14	—	—	—	99.40	$\left.\begin{matrix}0.661RO\\0.339R_2O\end{matrix}\right\}0.657Al_2O_3\cdot 4.86SiO_2\left\{\begin{matrix}0.034Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	北宋	68.70	19.23	0.42	<0.02	4.79	0.31	4.61	0.16	0.15	0.08	—	98.63	$\left.\begin{matrix}0.649RO\\0.351R_2O\end{matrix}\right\}1.284Al_2O_3\cdot 7.74SiO_2\left\{\begin{matrix}0.020Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	北宋	68.99	15.39	0.74	0.02	10.31	0.34	3.29	0.12	0.16	0.09	—	99.43	$\left.\begin{matrix}0.840RO\\0.160R_2O\end{matrix}\right\}0.653Al_2O_3\cdot 4.98SiO_2\left\{\begin{matrix}0.022Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	南宋	66.05	16.85	0.48	—	12.80	0.73	3.55	0.14	0.16	0.01	—	98.77	$\left.\begin{matrix}0.862RO\\0.138R_2O\end{matrix}\right\}0.536Al_2O_3\cdot 3.75SiO_2\left\{\begin{matrix}0.010Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	南宋	69.09	14.63	0.92	—	11.60	0.57	2.45	0.10	0.12	0.01	—	100.49	$\left.\begin{matrix}0.889RO\\0.113R_2O\end{matrix}\right\}0.570Al_2O_3\cdot 4.58SiO_2\left\{\begin{matrix}0.020Fe_2O_3\\—\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	元代	66.19	15.64	0.54	0.18	11.04	0.65	4.59	0.13	0.30	0.08	—	99.34	$\left.\begin{matrix}0.810RO\\0.190R_2O\end{matrix}\right\}0.570Al_2O_3\cdot 4.12SiO_2\left\{\begin{matrix}0.011Fe_2O_3\\0.007TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	元代	65.85	16.43	0.30	0.02	11.47	0.60	3.85	0.10	0.24	0.18	—	100.23	$\left.\begin{matrix}0.842RO\\0.158R_2O\end{matrix}\right\}0.607Al_2O_3\cdot 4.14SiO_2\left\{\begin{matrix}0.007Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	元代	66.46	14.11	0.45	0.02	12.65	0.62	3.77	0.10	0.25	0.21	—	98.62	$\left.\begin{matrix}0.857RO\\0.143R_2O\end{matrix}\right\}0.482Al_2O_3\cdot 3.87SiO_2\left\{\begin{matrix}0.010Fe_2O_3\\0.001TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	明代	69.66	15.64	0.62	—	6.98	0.43	5.42	0.17	0.34	0.08	—	99.58	$\left.\begin{matrix}0.798RO\\0.202R_2O\end{matrix}\right\}0.768Al_2O_3\cdot 5.83SiO_2\left\{\begin{matrix}0.020Fe_2O_3\\0.010P_2O_5\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	明代	69.01	15.56	0.24	0.35	6.04	0.78	6.65	0.16	0.45	0.02	—	99.26	$\left.\begin{matrix}0.646RO\\0.354R_2O\end{matrix}\right\}0.743Al_2O_3\cdot 5.58SiO_2\left\{\begin{matrix}0.009Fe_2O_3\\0.019TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	清代	69.46	15.38	0.53	—	6.69	0.58	6.04	0.49	0.13	0.09	—	99.39	$\left.\begin{matrix}0.657RO\\0.343R_2O\end{matrix}\right\}0.729Al_2O_3\cdot 5.59SiO_2\left\{\begin{matrix}0.014Fe_2O_3\\—\ TiO_2\end{matrix}\right.$	
德化白瓷釉	清代	68.47	16.56	0.33	—	5.07	0.70	6.85	0.20	0.43	0.33	—	98.99	$\left.\begin{matrix}0.601RO\\0.399R_2O\end{matrix}\right\}0.853Al_2O_3\cdot 6.01SiO_2\left\{\begin{matrix}0.010Fe_2O_3\\0.015P_2O_5\end{matrix}\right.$	

意的一个大问题。1980年,河北省临城县轻工局组织有关人员开始在临城与内丘两县交界处对瓷窑遗址进行调查[4],从内丘县境内的东、西瓷窑沟及临城县的祁村、西双井一带发现古窑址有17处之多,最后终于在临城祁村古窑址中试探出具有唐代风格的玉壁、平底细白瓷碗等残品,与故宫博物院所藏的邢窑白瓷碗相比,无论胎质、造型和釉色等都十分相似,这才证实了邢窑的古窑址是在临城、内丘一带,而不是在邢州(即今之邢台),这与定窑的古窑址是在曲阳而不在定州(即今之定县)一样。

根据河北省邢窑研究组自1983年以来详细考查的结果,所发现17处古窑遗址有隋代1处,唐代5处,五代2处,宋代4处,元代1处,并搜集了大量实物残瓷样品和窑具,实物残瓷中有碗、壶、坛、盘、杯、盒、鸟食罐、骑马俑等品种,从发现的残瓷片来看,祁村、岗头的唐代残瓷器胎质洁白、瓷化程度高的细瓷器还是大量的,而呈灰、黄色调的粗瓷也有一定的数量,从胎釉的化学分析看,质量也是有高有低(其化学分析结果见表6-1和表6-2)[5]。

根据其胎、釉的化学分析结果表明,胎中Al_2O_3的含量为28~36%,与南方景德镇、德化的瓷胎相比,应属于高铝瓷胎。质量好的白瓷残片,Fe_2O_3的含量在0.60~0.70%之间,稍高于一般白瓷规定的Fe_2O_3为0.6%以下的标准,但TiO_2的含量较高,约0.5~0.6%,个别的TiO_2含量有0.35%的,故瓷质有色白类雪的,也有发灰黄的。

关于釉的化学组成,很明显是属于$CaO-Al_2O_3-SiO_2$系统范围,虽然釉中含有一定量的K_2O、Na_2O、MgO等熔剂,但主要熔剂是CaO,故亦可称为"灰釉",此外,釉内Al_2O_3的含量一般说来也稍高。

邢瓷胎内存在蠕虫状的高岭颗粒,莫来石晶体发育良好,石英含量比较少,并有蚀边现象和有一些方石英存在[5]。

邢瓷釉呈透明光润,微泛黄色,釉中可以观察到小的石英颗粒和气泡,胎釉之间有一反应层,并观察到有斜长石晶体(Plogioclass)由胎向釉中过渡,值得提出的是,含铁量较高的胎中尚有很明显的厚约0.3~0.4mm的中间层,即所谓"化妆土"。

根据近年来在河北临城采集的实物样品初步测定的结果,邢窑的烧成温度一般在1340±20℃左右,个别高的可达1370±20℃,低的尚有1260±20℃的,说明唐代邢窑的烧成技术还不够稳定。胎的吸水率,坚硬致密者一般<0.5%,胎体疏松的则在2%以上,釉面的白度一般还比较高。从分光反射率($R\%$)分析(图(6-3),与唐代巩县窑白瓷相比,邢窑白瓷在可见光波段内反射率较高,600nm处尚有峰值,在700~1000nm波长区域,其反射值(即$R\%$)比较低,说明邢窑白瓷有白里泛青的色面,而巩县白瓷则有白里泛黄的感觉。由此可见,唐代邢窑白瓷烧成时的还原气氛较巩县白瓷稍浓。

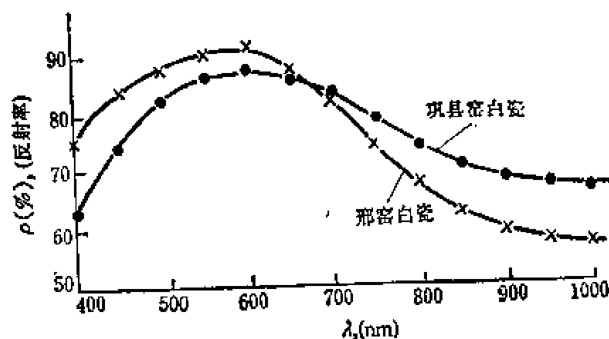


图6-3 隋唐时期邢窑和巩县窑白瓷的分光反射率

三、巩县窑白瓷

巩县窑在今河南省巩县,在唐代也盛产白瓷,据《新唐书、地理志》、《元和郡县图志》等均

有记载，并向长安贡白瓷，但其遗址一直未被发现，直至1957年故宫博物院冯先铭先生到巩县调查时，始在巩县西南的白冶河和大、小黄冶一带发现有古窑址和白瓷堆积物，其中白瓷以碗、盘、杯等为主，碗类最多，且质地坚硬，洁白莹润，并有薄胎白瓷，呈半透明状，其质量较高，可与明、清时期景德镇的脱胎白瓷相媲美。1976年河南省博物馆又对窑址进行了试掘，并提供唐三彩确切的窑址和烧造年代，从窑址的规模及产品种类推断，唐代巩县大、小黄冶一带，不仅是唐代重要的白瓷产地，而且也是唐三彩陶器生产的重要产地。

巩县白瓷的外观质量与其胎釉的化学成分见表6-1和6-2[6]，与邢白瓷极接近，其胎亦属于高铝质，Al_2O_3含量一般在27～37%之间，Fe_2O_3的含量一般在0.5～1.0%左右，个别的达1.3%，故烧出的瓷器洁白，胎中以CaO为主要熔剂，个别CaO含量低而MgO含量高，后者与定窑白瓷CaO含量低及以CaO、MgO作主要熔剂有相似之处。釉中，Al_2O_3含量在14～18%之间，K_2O+Na_2O在3～7%之间，根据其化学组成和实地调查认为，在古代是使用石灰石、柴灰与含硅高的粘土配合制釉。此种釉有的与景德镇白瓷釉中$[K(Na)_2O]$含量相近；有的则较低，与定窑白瓷釉相近；但大多数釉的成分属含CaO量高、含$K(Na)_2O$量低的，因而也可以将它归属为"灰釉"一类。

巩县白冶河、苇园两地遗址都位于石灰二叠纪粘土层地带，粘土矿物与石灰石的藏量相当丰富，其附近的粘土化学成分分析结果如表6-3所列[7]。

巩县白瓷的胎内含有极少量的石英颗粒、云母沉积物、小的莫来石晶体以及高岭石颗粒，结合表6-1和表6-3中所列的瓷胎和当地粘土原料的化学分析结果与岩相分析结果表明，巩县白瓷的胎是由一种或两种粘土所组成。釉为透明玻璃质，釉内仅观察到有极少量的石英晶体，在胎釉之间反应层中存有斜长石双晶体(Plagioclass twin crystals)，因此巩白瓷的釉是非常透明洁白光润的。

表6-3　巩县白瓷用原料化学分析

名称	特征	氧化物含量(m%)								
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	灼减	总量
后山粘土	灰白色	59.82	25.08	0.80	0.58	0.55	4.13	0.88	6.50	98.34
硬质中岭	青灰硬块	48.08	37.42	0.71	0.89	0.39	0.01	0.03	12.07	99.54
软质中岭	青灰块状	44.64	38.04	0.54	0.83	0.23	1.78	0.41	11.65	98.12
乔沟粘土	浅灰碎块	63.35	23.73	1.66	0.29	0.56	4.03	—	6.38	100.00
白粘土	灰白碎块	57.16	28.05	0.62	1.58	0.64	2.70	1.97	7.01	99.73

巩县白瓷的物理性能列于表4-4中，从表中所列的数据可见，烧成温度有高有低，因此胎的气孔率和吸水率及膨胀系数等数据亦不一致，这表明唐代巩县白瓷的致密程度和质量很不一致。尽管质量好的白瓷水平很高，但质量差的数量也不少，说明当时制瓷技术是不够稳定的，除胎釉成分分散变化较大外，其主要原因是当时窑的结构不合理，以致使窑内上下温差较大造成变化多。根据发现的几处残窑遗址观察，窑室宽度约1.2～2m不等，窑底平面为马蹄形，窑后墙有两个或三个烟道，接连烟囱由后壁通出地面，火坑宽约0.66m，伸向窑内中部，窑底铺有一层土渣，上装匣钵和柱脚，唐代用木柴烧成，因此虽有窑室较浅，上下温差大是缺点，但是烧柴火焰较长，故很易使窑内产生正压，温度易于烧高和达到还原气氛，故隋唐时期巩白瓷部分产品质量较高，除原料中Fe_2O_3含量较低外，与烧成温度高和气氛、压

表 6-4 巩县白瓷胎的物理性能

样品编号	烧成温度 (°C)	气孔率 (%)	吸水率 (%)	热膨胀系数 (×10⁻⁷/°C, 0~500°C)
HG_1	1290±20	9.09	4.17	[illegible]0.7
HG_2	1260±20	1[illegible].45	[illegible]	51.[illegible]
HG_3	1380±20	0.78	0.33	55.5
HG_4	1290±20	3.67	1.61	53.5
HG_5	1310±20	6.20	2.74	—
HG_6	1290±20	0.83	0.33	46.8

力的适当掌握有密切关系。

四、定窑

定窑又称曲阳窑，自唐、五代、北宋至金，均以连续烧造白瓷为主，特别在北宋时期的刻花、印花尤为突出，它不仅瓷质洁白坚硬，而且花纹图案优美，开创了我国白瓷装饰艺术的先声，国内外享有极高的评价，但自金代以后逐告失传。该窑遗址由1934年叶麟趾先生首次提出[8]，并在他著的《古今中外陶瓷汇编》中注明定窑遗址在今河北曲阳县涧磁村，而不在定县境内，这就给以后研究定窑白瓷奠定了良好的基础。五十年代，故宫博物院[9]、河北省文化局文物工作队[10]等曾先后到曲阳涧磁村和燕川村一带进行调查和发掘，逐步证明定窑是始于唐，盛于北宋，金、元则日益衰退。定窑产品具有精美的独特风格，在国内影响的面也较大，如山西的平定窑、介休窑以及四川的彭县窑都受定窑影响，烧造过与定窑风格相似的产品。

定窑产品除以烧白瓷为主、并有白釉刻花和印花外，还兼烧黑釉、酱釉、绿釉等产品；定窑白釉刻花和印花装饰兴起后，其花纹以牡丹、莲花、菊花较多，其次为动物、禽鸟、水波游鱼、龙等纹饰，组合成布局严谨、线条清晰、疏密有致、极为丰富的图案纹样，它所以在国内外享有崇高的声誉，其装饰技术亦是重要的一面。

由表 6-1 中所列化学组成[11]可知，唐代早期的定窑白瓷质量很差，胎内 Fe_2O_3 含量高达 2.58%，断面呈棕黄色，且断面粗糙、致密度差，故在胎釉之间施有一层白色的化妆土以提高釉面的白度。晚唐以后，质量有明显的提高，已开始不用化妆土，直接选用较纯的和含 Fe_2O_3 量较少的粘土原料做坯，烧制的瓷器质量较高，一直到金代都是洁白光润、质地坚硬致密，所不同者是北宋时期大部分定白瓷带有刻花和印花装饰，其他时期多为县白色素面。这一期间胎的化学成分中 Al_2O_3 含量均在 28～34% 之间，与唐代邢白瓷和巩县白瓷差不多，亦属高铝质的瓷胎，在 1300±20°C 烧成时就可以烧结得非常致密，主要是胎内含有少量 $CaO+MgO$ 作为矿化剂的缘故。

定窑白瓷釉的化学组成是 Al_2O_3 含量稍高，K_2O+Na_2O 含量较 $CaO+MgO$ 含量稍低，与邢白瓷、巩县白瓷、景德镇白瓷以及德化白瓷的釉相比均不相同，因此这种釉具有以 CaO、MgO 为主作为熔剂的特点，故可称为"镁-灰釉"。尽管釉内含 Al_2O_3 较高，高温粘度较大，但 CaO、MgO 含量稍高，对于降低釉的高温粘度和增强釉的流动度还是有利的，所以定窑白瓷釉层较薄(约 0.05～0.10mm)，而釉面呈现光润，以使刻花、印花的花纹线条极为清晰悦目，定白瓷形成的独特美术风格是与釉的组成有不可分割的密切关系。

唐代 (1)

北宋 (2)

金代 (3)

現代 (4)

图 6-4 历代定窑白瓷偏光显微照片 450X

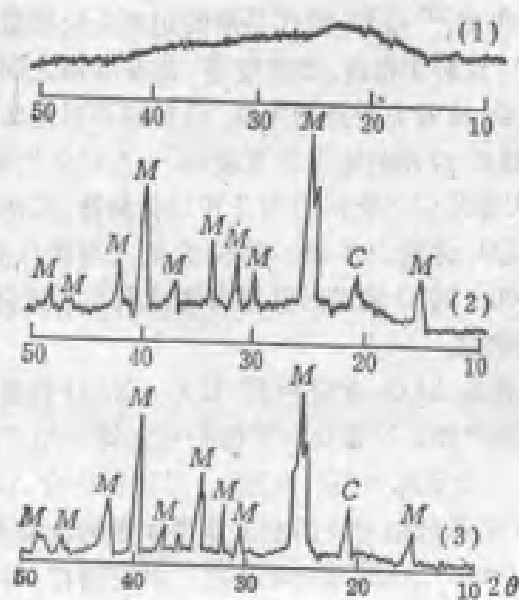


图 6-5 唐、宋定窑白瓷胎、釉的 X 射线图谱

晚唐和五代的胎内有小气泡，并呈扁平形，这是由于当时坯泥捏练不均和手工制坯的缘故；北宋的瓷胎中有大量发育良好的针状莫来石晶体互相交错丛生，此外还在北宋和金代的胎体内发现有云母残骸和少量的石英。胎釉的交界处的石英晶体已有熔蚀边界，针状莫来石自胎内向釉中丛生，这些都是定窑白瓷显微结构的特点。北宋瓷胎中莫来石晶体发育良好的原因之一是由于北宋时期瓷器烧成温度较高，同时以含有 CaO、MgO 的白云石作为矿物剂也起了重要作用。历代定窑的白瓷釉的釉层均较薄，釉中气泡很少，釉中石英晶体也极少，且呈透明状，这是坯体内的气泡在高温阶段时易于通过薄釉层向外逸散的结果，从历代定窑白瓷偏光显微镜照相(图 6-4)可以观察和分辨得很清楚。

X 射线衍射的结果如图 6-5 所示，基本上与偏光显微镜观察的结果一致，北宋时期的瓷釉几乎无衍射峰，说明釉呈现为无定形的玻璃态。无论是唐代和北宋的瓷胎中均存有大量的莫来石和极少量的方石英晶体，胎中大量莫来石向釉中丛生，而透过釉层形成的散射效果对定窑白瓷具有特殊的白色。

从图 6-6 中所示历代定窑白瓷的分光反射率很明显地可以看出，唐和五代釉面反射率在波长 500～600nm 青蓝区时的峰值突然下降，到 700～1000nm 红外光谱区时，仍变化大，继续降至最低限度。而北宋和金代釉面的分光反射率，波长在 600～700nm 光谱区的峰值虽然也继续下降，但比较缓慢，到 800～1000nm 红外光谱区时，也比唐和五代釉面的反射率仍高得多；实物样品的釉面色调与测得的结果是一致的，即唐和五代的瓷器釉面呈白里泛青的色调，而北宋和五代的则呈白里泛黄色调。由此表明，唐和五代的定白瓷是采用以柴为燃料的还原焰烧成，而北宋和金的定白瓷是采用以煤为燃料的氧化焰烧成。从考古发掘的晚唐时期的定窑结构分析[12]，窑室容积较小，炉栅面积较大，炉坑较深，而烟囱宽大较低，柴的挥发物含量多，因此窑内气氛易于产生正压，造成还原气氛。待至北宋，由于窑室容积扩大，煤的火焰较短，固定碳含量高，窑内火焰易于氧化，因而瓷器色调泛黄，显然不同于唐、五代的产品色调。

由图 6-7 定瓷胎的透光率来看，唐代的最低，五代、北宋和金代的均较高，其中北宋时期的比较稳定，这是由于晚唐和五代时期在还原烧成条件下胎体内的碳素不易逸出，从而降低

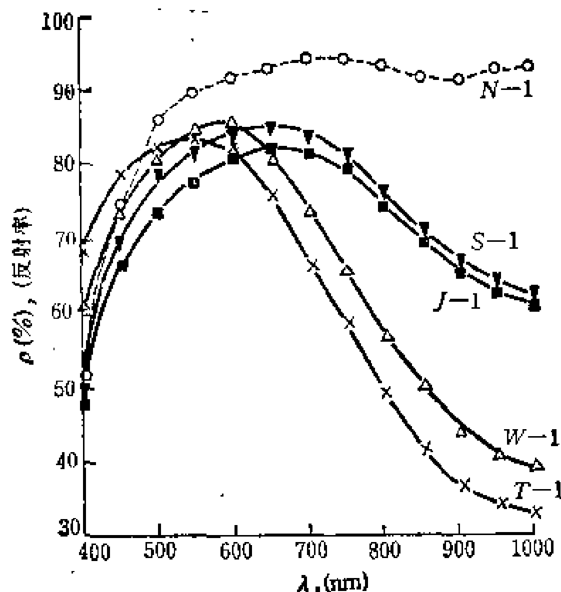


图 6-6 历代定窑白瓷釉的分光反射率

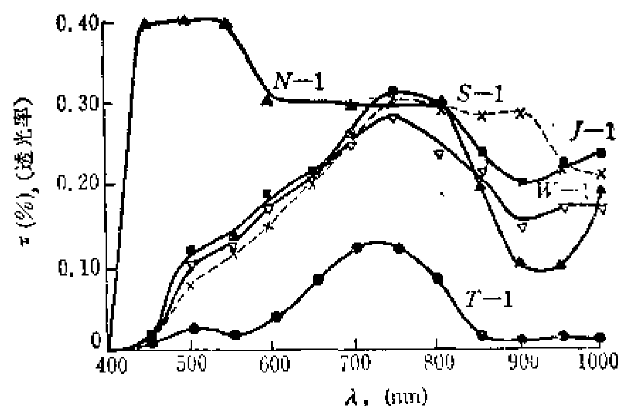


图 6-7 历代定窑瓷胎的透光度

胎的透光度之故。北宋时期，胎的透光率较高而且又稳定，固然与窑炉结构和烧成技术有密切的关系，在此特别值得提出的是，北宋定窑的覆烧工艺非常考究，即在匣钵筒内套以用胎泥制成的瓷质圈套，并在圈套上挖有一周浅沟，然后再将口边不带釉的碗、盘坯体倒扣在置于匣钵筒内的套阁上，形成覆扣套叠装烧。由于套圈的化学成分与胎泥的成分一样，所以在高温烧成时其膨胀和收缩率与胎是一致的。覆扣装烧方法既可以防止胎体变形，又可增加装坯量，尽管北宋定白瓷口边有芒(即无釉的口边)，曾被宋代皇帝命令停止烧造，但从技术观点分析，宋代陶工的这一技术创造，对增加产量，提高质量是具有重要意义的。这一覆烧工艺自北宋以后曾传到许多窑区，虽然因器物口边无釉，以后许多名瓷改为单一制品采用单一匣钵烧成，但对以后日用白瓷的大量生产还是产生了巨大的影响。

原料是制瓷的基本条件之一，对于胎釉的组成和其形成的独特风格有密切关系。根据《曲阳县志》记载："县境三面皆山，……灵山一带惟出煤矿，龙泉镇则宜瓷器，亦有瓷石之"。从历代定瓷的胎釉的化学成分来看，其胎的成分无疑是以粘土为主，曲阳定窑遗址附近的几种粘土矿物的化学分析(表 6-5)和差热分析和失重试验(图 6-8)表明，当地粘土原料是以高岭石为主的沉积高岭，而且其化学成分中含 Fe_2O_3 量较低，质量较纯，这对定白瓷的洁白光润提供了可靠的物质条件，据此，定窑白瓷胎可以灵山粘土一种或适当掺入少量的其他粘土制成。

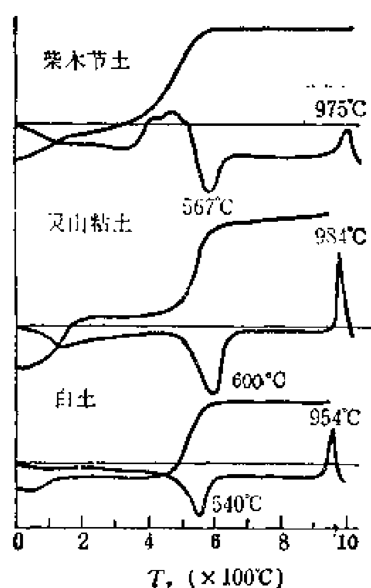


图 6-8　灵山土、紫木节土、白坩土的差热分析和失重曲线

曲阳地区除蕴藏大量的优质粘土外，白云石、石英、长石等制釉原料也很丰富，这就给制镁-灰釉创造了有利的条件。定窑镁-灰釉中 Al_2O_3 含量高，高温下的粘度较大，故施釉时釉层必须要薄，否则会影响刻花或印花的清晰，降低其艺术效果。

历代定窑白瓷胎的陶瓷物理性能列于表 6-6 中。

定窑白瓷的烧成温度以北宋最高(1320±20°C)，金代最低(1250±20°C)，晚唐和五代的烧成温度均在 1300±20°C；其气孔率除晚唐和金代较高外，五代和北宋均较低，证明五代和北宋时期定窑白瓷的烧结程度均甚致密；瓷胎的抗折强度也是五代和北宋时期较高，而且均已达到现代日用白瓷的指标，也说明自晚唐以后，五代时期定白瓷的质量已达到很高的水平，北宋时期在五代的基础上不仅在质量上有新的提高，而且又创造性地采用了精细的刻花和印花装饰，形成了其独特的风格。

1979～1980 年期间，河北省轻工业厅、保定地区轻工业局以及曲阳县委等部门十分重视继承和发扬这一优秀的文化遗产，曾组织曲阳县定窑瓷厂在现有生产日用瓷的基础上进行了恢复定窑白瓷的研究和小批量试制，并初步获得了良好效果。1981 年，河北省轻工业厅为了进一步提高仿定瓷的水平，又组织了唐山陶瓷研究所和曲阳定窑瓷厂的技艺人员共同协作，同时在上海硅酸盐研究所深入分析和科学研究下[11]，参照前一阶段恢复的基础工作和对古瓷的研究结果，利用当地原料进行了改进和大量仿制工作，无论外观和内在质量方面已接近宋代瓷质水平。仿定白瓷胎釉的化学组成及其产品的物理性质分别列于表 6-7 与表 6-8。

表 6-5 河北曲阳定窑制瓷原料化学分析*[13]

矿物名称	氧化物含量 (%)										备注
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	烧失	总量	
灵山矿石	11.20	41.50	0.48	3.31	0.39	0.14	0.22	0.04	13.56	100.68	
羊平白云石	0.25	0.23	微	微	29.52	22.95	—	—	46.34	99.29	
孝墓白云石	17.35	4.36	0.42	0.12	21.96	17.62	—	—	31.79	99.59	
曲阳[illegible]石	0.33	0.16	—	—	57.62	-	—	—	42.51	100.62	
曲阳滑石	72.50	0.54	0.56	—	0.35	22.93	—	—	3.42	100.30	
[illegible]白干	31.18	47.99	0.24	2.98	0.29	0.10	0.47	0.79	13.60	100.64	
[illegible]石英	98.26	0.85	0.80	—	0.25	0.21	—	—		100.57	
曲阳长石	65.28	19.11	0.50	—	0.25	0.22	9.16	4.35	0.81	99.05	
曲阳[illegible]长石	63.95	21.80	0.10	微	1.50	0.20	6.59	4.84	0.23	99.21	
灵山紫木节	37.70	35.92	0.15	1.47	1.68	0.43	0.18	0.58	22.09	100.02	
庞家洼青土	66.71	22.31	0.44	1.03	0.57	0.33	1.40	0.33	7.31	100.43	
大营黄土	62.58	12.94	3.91	—	6.45	2.41	2.32	2.28	7.20	99.98	
耐火土	38.08	45.76	0.96	—	1.53	0.10	—	—	13.05	99.48	

* 河北省陶瓷工业检测站(唐山)测试

表 6-6 历代定窑白瓷胎的陶瓷物理性能

时代	气孔率(%)	烧成温度(°C)	抗折强度(平均)(N/cm²)
晚唐	1.45	1300±20	6280
五代	0.66	1300±20	7480
北宋	0.99	1320±20	6280
金	6.98	1250±20	5930
现代	1.24	1280±20	6900

表 6-7 仿宋定窑白瓷胎釉的化学组成[13](m%)

编号	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	烧失	总量
胎-Fs14	62.09	31.67	0.43	0.32	2.52	1.14	1.63	0.76		100.56
胎-Fs15	62.57	31.39	0.27	0.52	1.88	1.69	1.68	0.64	0.06	100.70
釉-Fg18	65.35	16.24	0.41	0.18	11.73	2.34	2.99	1.24		100.48
釉-Fg19	64.78	17.37	0.49	0.24	10.95	2.28	3.11	1.40		100.62

表 6-8 仿宋定窑白瓷的物理性质[13]

编号	吸水率(%)	显气孔率(%)	体积密度 ×10³(kg/m³)	烧成温度(°C)	釉层厚度(mm)	釉面显微硬度(N/mm²)	白度(%)
Fs14-Fg18	0.51	1.13	2.21	1320±20	0.05	6865.0	70.50 77.40
Fs15-Fg19	0.28	0.61	1.19	1320±20	0.07	6717.5	76.70 76.30

五、磁州窑白瓷

磁州窑是我国宋代最大民窑之一，根据1957～1958年河北省文物工作队在河北邯郸市观台镇窑址的发掘[14]，地层关系比较清楚，认为其年限最早不会超过宋元丰(公元1078～

1085年)间，下限定为元代(公元1271～1368年)，其产品种类繁多，如碗、盘、罐、瓶、盒、洗等等。它不仅继承了唐代各民窑的特点，而且以烧白瓷为主，并在此基础上又兼烧黑瓷、花瓷、青瓷以及白釉划花剔花、白釉釉下黑彩和刻花、白釉红绿彩、低温铅釉三彩陶等等，有浓厚朴实的民间艺术风格，充满生活气息，深受国内外陶瓷界人士的赞赏。具有磁州窑装饰风格的白瓷，在国内分布面极广，如河南的鹤壁、修武(当阳峪)、登封、密县、禹县扒村，陕西的耀州，山西的平定、介休，山东的淄博以及江西的吉州窑等等均有。上述各窑在器型和装饰艺术风格上也有许多相似之处，故在我国陶瓷史上形成了一个陶瓷体系，又称为"磁州窑系"。

磁州窑系的产品适合于广大民间使用，与邢、巩、定窑产品相比，其使用原料含铁、钛杂质较多，质地较粗，坯体较黄，故在胎釉之间多施有一层化妆土以弥补其胎体的缺陷和不足。但它在釉上或釉下常使用"斑花石"作为黑色彩料，结合传统国画手法来装饰陶瓷，形成各种釉下、釉上装饰产品，不仅色彩鲜明，而且纹饰质朴豪放，在我国陶瓷史上确是一大创新，为我国陶瓷彩绘技术和艺术的发展增添了新的内容，特别是釉下黑花的绘制和划花，尤为世人所珍视。

关于胎的化学组成，作者将近年来所搜集到的实物样品以及与磁州窑风格相似的其他产品的胎釉进行了化学分析，其胎的化学组成列于表6-9。

表6-9　磁州窑系白地黑花瓷胎的化学组成[14]($m\%$)

编　号	名　　称	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2
CC-1	磁州窑瓷胎	60.60	27.97	0.30	0.50	1.91	0.36	2.83	1.49
CH-1	鹤壁窑瓷胎	60.15	26.85	0.96	0.52	1.16	0.18	7.02	1.30
CP-1	扒村窑瓷胎	63.63	24.90	0.46	0.58	2.22	0.25	3.53	1.04
CD-1	当阳峪窑瓷胎	53.51	32.20	1.28	0.50	0.97	0.24	6.92	1.82
CJ-1	吉州窑瓷胎	59.82	27.90	0.062	0.28	5.33	0.36	1.53	1.07

根据胎的化学组成，磁州窑白瓷胎的Al_2O_3含量均较高(24～33%)，其含铝量与邢、巩、定窑胎的组成差不多，是由一种或两种粘土所组成，所不同的是所用粘土的质量差，使胎内Fe_2O_3含量达到3～7%，TiO_2含量为1.3～1.9%，为了提高釉面白度势必得采用化妆土。吉州窑的某些彩绘产品在宋代亦曾受过磁州窑的影响，但由于地处南方，其使用的原料显然与北方各窑不同，特别是含K_2O较高，$Fe_2O_3+TiO_2$较低，即使用当地的瓷石和粘土制胎而成。

根据文献记载，宋代磁州窑瓷釉是采用河南安阳地区所产的一种矿物原料(俗称安阳釉药)，经过粉碎加水研磨后直接施于坯上，北方磁州窑系中的各窑也大都利用这种矿物制作釉料。安阳地区天禧镇所产的釉药的化学分析及X射线分析结果如下：

安阳釉石的化学成分为($m\%$)：

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	烧失	总量
69.58	17.62	0.15	0.18	3.26	1.59	0.43	5.95	0.20	100.71

安阳釉石是一种天然的釉石，不需引入其他矿物即可成为釉料。由X射线分析得知，其主要矿物为钙长石、石英和钠长石等。由此，从釉料的化学成分也可推知宋代磁州窑以及北方各窑区都是以单独一种安阳釉药作为釉料的，至于南方宋代的吉州窑的瓷釉，则是利用当地的瓷石为主，引入一部分灰釉而制成。

光学显微镜(OP)和扫描电子显微镜(SEM)观察分析的结果认为，在北方的磁州、鹤壁、扒村、当阳峪等瓷器断面，胎、釉、化妆土三层界面非常明显，表面釉层的厚度一般较化妆土稍薄，胎体比较粗糙，不够致密，且有气孔和裂缝等缺陷；而吉州窑的胎、釉界面处未发现有化妆土，瓷胎细腻致密。在北方诸窑的瓷胎中还可以观察到，胎内存有粘土颗粒和带有细粒状的方石英晶粒聚合体和大颗粒的石英残骸；而吉州窑的瓷胎中则看不到含有粘土颗粒，很清楚地可以观察到许多云母类矿物残骸，这些云母残骸内包括有云母等类矿物。在矿物组成上，北方诸窑的瓷胎是由粘土-石英-长石所组成；吉州窑的瓷胎是由高岭-石英-绢云母所组成，后者与景德镇的瓷胎组成颇相似，也是使用瓷石原料。

从瓷胎的 X 射线定性分析的结果表明：北方四种磁州窑瓷胎都含有石英、莫来石和方石英三种晶相及玻璃相；吉州窑的瓷胎中方石英含量极少，大都为石英、莫来石晶相和玻璃相三种，X 射线定量分析测定的结果如表 6-10 所列。

偏光显微镜下观察可见，五种瓷釉中都存有大小不等和数量不一的釉泡，其中除当阳峪瓷釉中的釉泡较少外，其他釉泡大小一般都在 0.2～0.7mm 之间。釉层均较薄，磁州窑和吉州窑瓷的釉层厚度在 0.06mm 左右，其他三种均在 0.15mm 左右。釉层中均存有残余石英的颗粒，在釉层和化妆土层相邻的界面处有一层柱状钙斜长石的结晶析出，除当阳峪瓷釉中含量较少外，其他四种均含量较多。

表 6-10　磁州窑系各窑瓷胎 X 射线定量分析

结构组成(%)	磁州窑	鹤壁窑	扒村窑	当阳峪窑	吉州窑
石英	22.1	20.4	22.3	11.6	31.4
莫来石	18.7	23.0	19.7	35.9	13.6
方石英	3.7	7.2	2.9	7.7	～0
玻璃相及其他	55.5	49.4	55.1	44.8	55.0

磁州、鹤壁、扒村三窑瓷釉的 X 射线衍射结果表明都存有不少的残余石英和钙长石等，这和偏光显微镜下的观察结果是一致的，惟当阳峪和吉州窑瓷釉中残余石英量极少，故玻化程度较好，釉面较光亮，而其他三种试样因釉内含有较多的残余石英和钙长石晶体，釉呈乳光，有可能是烧成温度较低之故。

磁州窑系五种胎釉物理性能测试结果如表 6-11 所列：

表 6-11　胎釉物理性能测试结果

测试项目	磁州窑	鹤壁窑	扒村窑	当阳峪窑	吉州窑
釉层平均厚度(mm)	0.06	0.15	0.15	0.15	0.06
化妆土平均厚度(mm)	0.45	0.45	0.25	0.35	无
瓷胎吸水率(%)	2.76	14.01	4.15	1.90	0.46
瓷胎中残余石英粒径(mm)	0.013	0.021	0.012	0.020	0.014

由上表很明显地可以看出：(1)磁州窑、吉州窑的釉层最薄，其他三窑产品的釉层较厚。(2)北方的各窑产品胎釉之间均施有一层化妆土；吉州窑不施化妆土。(3)北方诸窑的吸水率均较大，烧结程度差，无疑瓷胎断面粗糙，机械强度小；吉州窑吸水率最低，烧结程度好，坯体断面致密，机械强度高。(4)瓷胎均含有残余石英，南、北方无大差别。总的说来，单以瓷

质而论，北方诸窑白瓷差，吉州窑最佳，主要是使用瓷石为原料致密烧结温度相对低些，易成瓷。为了比较各窑产品的釉面色调，借分光光度计测定的结果如图 6-9 所示。

由图中可知，所试各窑产品的白度都不算高，其中吉州窑白度最低，当阳峪窑白度最高，磁州窑、鹤壁窑、扒村窑三者较接近，居于中间。

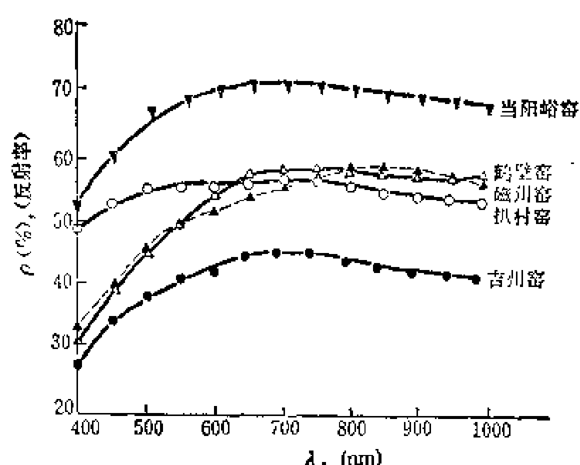


图 6-9　磁州窑系各产品釉面分光反射率

六、景德镇窑白瓷

宋代景德年间（公元 1004～1007 年）以前，景德镇窑又称饶州窑，以烧造白瓷为主。由于原料中含铁量偏高，采用还原气氛烧成，使胎内 Fe^{3+} 转化为 Fe^{2+}，形成瓷釉白里泛青的独特色调。

据近年来文物考古部门调查，早在五代时期（公元 907～960 年），在今景德镇的东郊杨梅亭、石虎湾、黄泥头等地已生产有质地坚硬和釉色纯真的白瓷，及至宋代（公元 960～1279 年），在景德镇东南郊一带的湘湖和湖田两地又发现部分白釉瓷片，其余大部分是影青瓷，不仅质地致密坚硬，而且已经有刻花和印花装饰，十分幽雅。到了元代（公元 1271～1368 年），景德镇的瓷业除生产带有"枢府窑"字款的卵白瓷外，还开始生产釉下青花、釉里红彩瓷，为以后明代（公元 1368～1644 年）以白瓷为基础生产釉上五彩、斗彩（釉上釉下相结合的）和祭红、祭蓝等色釉瓷开辟了新的途径。值得提及的是，明代永乐（公元 1403～1424 年）年间生产的甜白瓷，迄今人们还一致认为它是明代以来质量最佳的白瓷。到了清代（公元 1644～1911 年），特别是清初时期，不仅继承了明代的优良传统，而且又以釉上粉彩来装饰白瓷。从现代科学技术观点来论，清初康熙、雍正、乾隆时期的加彩白瓷，在质量和工艺技术上属我国陶瓷发展史上的最高水平，景德镇白瓷乃是该窑区各类瓷器品种发展的基础。

1．胎釉的化学组成

从表 6-1 可以看出，五代杨梅亭、石虎湾，宋代的湘湖、湖田窑瓷器的瓷胎化学组成都是含 SiO_2 较高，在 74～79% 之间，含 Al_2O_3 较低，约 16～20%，K_2O、Na_2O 含量 2.5～4.3% 之间。按照图 6-1 历代白瓷胎的分布图所示，都属高硅区，其化学成分与现景德镇所使用的南港、三宝蓬瓷石，经粉碎淘洗后制成的不子的化学成分极相似，可以认为这一时期的瓷胎是用一种瓷石不子制成的，这种高硅质瓷胎由于烧结温度范围较窄，易在高温过程中产生变形。到了元代，胎内 Al_2O_3 含量相应增高，在 20% 以上，要比所有瓷石中 Al_2O_3 含量都高，无疑元代已开始在白瓷胎内也引入高岭土。明、清两代的瓷胎中的 Al_2O_3 含量又大大提高，竟达 25～28% 之间，这一时期不仅使用了高岭土，而且在白瓷胎的配方中高岭土的用量也逐步提高，烧成温度也相应提高了，这对减少瓷器变形和提高瓷器质量有显著的效果，其产品的机械强度、釉面硬度、热稳定性等物理性能均达到硬质瓷器的指标。

景德镇的传统白釉同胎一样也随着时代发展而不断地改进，与北方的邢、巩、定和磁州等窑的白釉相比，其化学组成则有明显的差别，因此瓷器的外观和风格也显然不同。就景德镇历代的白釉来说，各时代产品也是有很大区别的，五代与宋代的白釉中 CaO 含量较高，一

般在 10～15% 之间，K_2O、Na_2O 含量偏低，约在 2.5～3.8% 之间，说明釉灰的用量较高，因靠釉灰中的 CaO 作为主要熔剂，故一般称为"灰釉"，属于 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 三元系统范畴。自元以后至明、清时期，釉中的 CaO 含量逐渐减少，在 3.5～8.5% 之间，K_2O、Na_2O 的含量亦随之增加，在 5.7～7.2% 之间，说明元代以后景德镇的制釉原料开始采用景德镇东乡瑶里"釉果"代替附近的瓷石与釉灰配合制釉，釉灰的用量减少了。此种釉一般称它为碱-灰釉，属于 $K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 四元系统。两种类型的釉相比，前者由于 CaO 含量较高，在高温过程中釉的粘度较小，流动度大，在用还原焰烧成时，使釉极易烟熏，影响釉面质量；再者由于石灰釉的釉面硬度及光泽度均较高，但往往在高温时其溶解能力较强，而使胎内 Fe_2O_3 易于溶解，以至影响釉的白度，故适合于青花瓷釉，而不适于白釉。元以后景德镇陶工们增加釉果用量和釉灰配制成釉，因釉果的矿物组成中除含有大量的石英和绢云母外，有时还含少量长石矿物，引用釉果中的 K_2O 代替部分 CaO 的含量，既可提高釉的高温粘度和熔融范围而不至于使釉易于烟熏，同时又可减弱釉的高温熔融 Fe^{3+} 的能力，从而可以提高釉面白度，如此方法对景德镇白瓷质量的提高，无疑是一项有力的技术措施。

总之，从元代早期开始至明代和清初，景德镇瓷业不断地发展和进步，瓷器质量和制瓷技艺均达到极高的水平，并创造了我国独特的民族风格，这不能不归功于在胎内使用了高岭土和釉内增加了釉果的用量这些技术上的措施。

2．胎、釉的显微结构

瓷器的矿物组成是决定瓷器质量优劣的物质基础，我国景德镇的瓷器，自明、清以来一直沿用高岭土与瓷石制胎，以釉果与釉灰制釉，其间延续了三个多世纪，它的矿物组成国内外虽有不少学者进行过研究，但始终未弄清楚。自 1955 年起，在中国科学院上海硅酸盐研究所*所长周仁先生领导的国瓷研究组开展了景德镇瓷器的研究，首先弄清楚了这个问题[15]，即明、清以来，景德镇瓷器不同于过去认为的长石质瓷器，它是属白水云母的绢云母矿物作熔剂成分的高岭-石英-绢云母质瓷胎和石英-绢云母质瓷釉，由于瓷石风化程度的关系而使其中有时夹以少量的长石。由于瓷胎中的绢云母常呈细分散状，在高温过程中易于反应充分形成玻璃相，因而质地细腻和透明度高，形成了景德镇瓷器重要的特点之一，尤其是清初景德镇的瓷器，虽然烧成温度不算高，但无论是白度、硬度、机械强度等物理性能均接近或达到优质硬质瓷器的指标。它的这些优良性能也与瓷胎中莫来石、石英、玻璃相等矿物组成的含量多少，分布的均匀与否以及玻璃釉的成分性质有着密切的关系。

为了系统地了解历代景德镇瓷器的特点，将五代、宋、元、明、清各个时期瓷胎的显微结构进行了大量的测定，其结果如表 6-12 所列。

表 6-12　历代景德镇瓷胎的显微结构[16]

样品名称及其年代	石英 (%)	莫来石 (%)	玻璃相 (%)	气孔体积 (%)
[illegible]	33.1	14.5	52.4	3.9
宋湖田窑影青[illegible]	27.0	16.7	56.3	6.9
宋湘湖窑影青瓷碎片	19.5	16.6	63.9	7.0
元青花大瓶残器	22.0	20.3	57.7	3.5
明万历五彩盘	20.5	28.0	51.5	3.2
清[illegible]彩盘	7.5	20.7	71.8	3.1
清[illegible]	8.9	25.2	65.9	1.7

作者为了进一步说明景德镇瓷器随着时代的演变趋势，将上表的数据分别画在图 6-10 内，以示其发展规律。

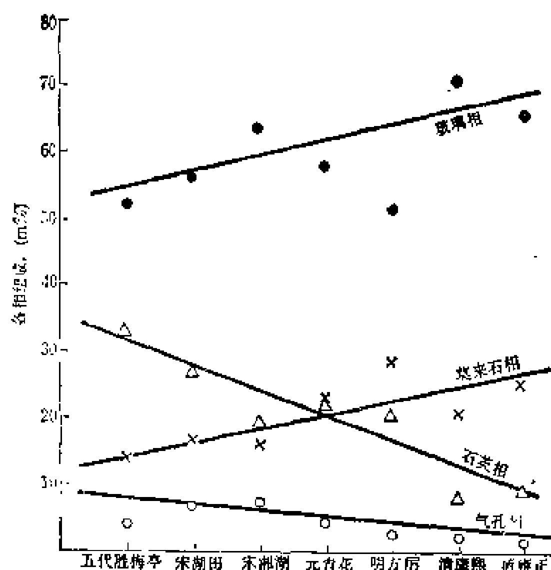


图 6-10 历代景德镇白瓷胎的显微结构

从图 6-10 中很明显地可以看出，胎内的石英晶体和气孔体积随着时代的增加而逐渐减少，莫来石和玻璃相随时代的增加而逐渐增加，由此可以证明，景德镇历代的瓷器质量是随时代的增加而提高。尽管明、清两期的瓷胎内玻璃相较高，但并未减低产品的物理性质，这主要是胎内的绢云母在高温过程中很容易反应完全形成高温粘度较高的玻璃相之故，这也是我国景德镇瓷器与以长石作为胎釉主要熔剂原料的长石质瓷器的重要区别。

3．胎、釉的物理性能

瓷器胎、釉的物理性质是决定瓷器质量的重要技术指标。五代、宋、元、明、清时期，瓷器的烧成温度、孔隙度、比重、抗折强度、膨胀系数、白度、透光度等测试结果列于表 6-13 中。景德镇自五代至清初，白瓷的烧成温度是逐次递增的。五代时烧成温度在 1100°C 上下，宋至明的烧成温度在 1200°C 上下，清代则达到 1300°C，这与胎中高岭土用量增高和釉中釉灰的用量减低后瓷器的瓷化温度提高有关。

瓷胎的气孔率大小是测定瓷胎烧结温度的重要标志。总的来看，五代以后瓷器的气孔率都不高，都达到瓷化程度，其中清初瓷器的气孔率尤小，说明其烧结致密程度很高，所以抗折强度最高，内在质量也最好。

表 6-13 历代景德镇瓷器的物理性能[16]

样品名称及年代	瓷胎烧成温度(°C)	气孔率(%)	密度 $\times10^3$kg/m³	抗折强度 ($\times10^5$Pa)	膨胀系数 [$\times10^{-7}$/°C(0～700°C)]	白度(%)	透光度(1.5mm厚，%)
五代胜梅亭白瓷碎片	1150～1250	0.81	2.11	—	67.7	70.0	—
宋湖田影青碗碎片	1100～1150	0.48	2.51	—	62.2	76.5	—
宋湘湖影青碗碎片	1200±20	0.36	2.52	550	[illegible]	[illegible]	1.19
元青花大瓶残器	1100～1150	0.68	2.58	570	68.5	62.0	[illegible]
明万历五彩盘	1200±20	1.38	2.55	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
清康熙五彩盘	1300±20	—	2.49	700	[illegible]	[illegible]	[illegible]
清雍正粉彩盘	1300±20	0.16	2.49	—	57.7	[illegible]	[illegible]

瓷器的白度和透光度是反映瓷器外观质量的重要技术指标之一，大部分在 70% 以上，如雍正粉彩盘子瓷胎白度达 77.5%，与德国麦森瓷盘（79.5%）和日本日陶瓷器（78.2%）相比都非常接近，但釉的白度与德、日同类产品相比确低得多，主要是由于釉料中含铁，经还原焰烧成后白里泛青之故。透光度除宋湘湖窑的产品稍高外，其次为雍正粉彩瓷盘，这表明清初时期瓷器质量水平之高。我国景德镇的制瓷技艺有很高的水平，但是由于当时制瓷技术设备的限制，也常出现釉面不够光润、针眼、气泡等缺陷，所以今天在继承我国制瓷优良传统

的同时，还应应用新科学技术来总结传统的制瓷工艺，并改进和发展我国瓷业的生产技术。

4．景德镇白瓷的恢复和提高

自1953年开始，轻工业部曾为恢复和提高传统瓷器的质量，组织过多次研究试制工作。特别是通过为友好国家技术交流和为满足外交使馆用瓷进行的研究试制工作，对景德镇的瓷器工艺进行了系统的科学总结，取得了十分良好的效果。瓷器的质量达到了康熙、乾隆的历史水平。其所以能取得较高成就，主要尚有上海硅酸盐研究所、景德镇陶瓷研究所与轻工部研究合作，并在景德镇推广研究成果，工作中采取了几个关键措施，即使用了古代使用过的原料-明砂高岭土和祁门瓷石制胎，以屋柱槽釉果和釉灰制釉，建造小型柴窑烧成，从而保证了在接近古代的条件下进行仿制工作。经过系统的研究试制，确定以高岭土50%和60%分别与祁门瓷石50%和40%的配料制瓷胎；以92%的釉果和8%的釉灰配制釉，所得结果与清代康熙、雍正的瓷器质量相近。表6-14列出了试制生产的白瓷胎、釉的化学成分，并相应列入了清初的同类瓷器产品作为比较。

由表6-14所载的化学组成可以看出，现代试制的白瓷胎内的 Al_2O_3 含量较清初的均稍高，故烧成温度比清代的要高20～30℃，釉的组成与清初相接近。

表6-14 白瓷胎、釉的化学组成（m%）

编号	试样名称和年代	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	CuO	PbO	总量
C_{14}	康熙中胎五彩盘胎	66.67	26.25	0.91	1.25	0.33	2.56	2.15	—	—	—	100.50
G_{14}	康熙中胎五彩盘釉	70.79	14.94	0.97	5.47	0.75	3.16	2.63	0.13	0.05	—	98.90
C_{13}	雍正薄胎粉彩碟胎	66.27	27.42	0.77	1.36	0.13	3.07	1.29	—	—	—	100.31
C_{15}	雍正薄胎粉彩碟釉	72.09	14.71	1.39	3.51	0.45	4.61	2.25	—	0.24	0.08	99.30
B_5	现代试制的瓷胎	63.91	28.54	0.87	1.30	0.62	3.93	0.74	0.07	TiO_2 0.04	—	100.02
G_6	现代试制的瓷釉	73.78	14.50	0.66	5.43	0.23	2.93	2.36	0.02	0.06	—	99.97
B_6	现代试制的瓷胎	62.11	30.56	0.91	1.11	0.65	3.75	0.77	0.08	0.03	—	99.97
G[illegible]	现代试制的瓷釉	72.87	14.32	0.67	6.61	0.25	2.85	2.33	0.02	0.06	—	99.98

从表6-15所列的各项技术指标来看，仿制白瓷的胎除透光度较雍正薄胎粉彩小蝶稍低外，其他均达到或超过清初瓷器的性能指标。仿制白瓷的烧成温度较清初景德镇瓷器的烧成温度高些，所以匣钵的耐火度和质量均需相应地提高，从目前景德镇瓷器的烧成温度来看，许多工厂均高达1300～1350℃范围，在技术上已不是难以解决的问题了。

表6-15 现代试制的白瓷与明、清瓷器物理性能比较

试样名称与年代	烧成温度（℃）	气孔率（%）	密度 $\times10^3$（kg/m^3）	胎膨胀系数（0～700℃）	抗折强度（$\times10^5$Pa）	胎白度（%）	透光度（厚1.5mm，%）
明万历五彩盘	1200±20	1.38	2.59	60.7×10^{-7}	～300	73.8	0.49
清康熙中胎五彩盘	1300±20	0.19	2.49	55.6×10^{-7}	～700	73.5	0.41
清雍正薄胎粉彩碟	1300±20	—	2.44	57.7×10^{-7}	—	77.5	0.66
现代试制的 B_5 胎盘	1310～1350	0.27	2.42	51.4×10^{-7}	～688	75.7	0.51
现代试制的 B_6 胎盘	1330～1380	0.14	2.39	53.5×10^{-7}	～781	76.8	0.51

七、德化窑白瓷

德化窑位居福建省德化县，向以建白著称于世，因其瓷质细腻如玉，釉面莹白如脂，故有"中国白"之称。产品极为精致，不仅有碗、盘、粉盒、碟、洗、壶、钵、瓶等生活用具，而且还有富于传统特色的历史人物、佛像等雕塑品，造型优美、形象生动，在我国陶瓷史上有独树一帜的风格。

关于德化窑的烧造年代，过去史籍文献资料甚多，1955 年南京博物院宋伯胤先生曾对福建的建窑和德化窑作过比较详细的调查[17]，并明确地提出德化窑在明朝以前就开始烧造瓷器，至 1976 年初，由福建省博物馆、厦门大学历史系、德化县文化馆等有关单位组织的德化县古瓷窑址考古发掘工作队对德化附近盖德碗坪仑和屈(伞)斗宫两窑遗址进行发掘后才证实[18~19]，盖德碗坪仑窑为北宋和南宋两个时代旧窑遗址，屈斗宫窑则为元代窑遗址，即德化窑始烧于北宋中、晚期，并一直延续到明、清两代。虽然文物考古工作者以往对德化窑进行了大量的调查和发掘工作，提供了可靠的科学依据，但是这些丰富的实物标本迄今还很少从科学技术角度予以总结和研究。为此，作者于 1978 年在福建省博物馆曾凡同志和福建省轻工业研究所郝朝炬同志大力帮助下亲赴德化屈斗宫古窑址及国营德化瓷厂调查，并提供了北宋、南宋、元、明、清各个时期的实物残片标本，进行了系统研究和总结，对德化白瓷的本质和工艺有了概括的认识。

从瓷质和釉色来分，德化窑白瓷大体分作宋、元和明、清两个阶段。宋代有纯白色釉和影青釉瓷器两种，影青瓷色调与景德镇宋湖田窑的影青瓷相似，质地薄而坚硬，釉面光润。亦有采用支圈覆烧的制品，并有印花、刻花装饰，在工艺上主要受景德镇窑的影响。碗、盘产品胎体厚度一般在 2～6mm 之间，底足部约 10mm，因之变形产品不少。自元代以后，已有胎釉渐白的近猪油白的瓷器出现，及至明、清时期，则以生产猪油白的白釉瓷为主，兼烧造青花瓷。所生产的白釉瓷乳白如脂，与其他窑区的釉色迥然不同，加上制瓷技艺精良，胎釉结合紧密，别具风格，在我国白瓷系统中占有独特的重要位置。

德化白瓷之所以形成其独特的风格，无疑与其胎、釉的化学组成有着不可分割的联系。由表 6-1 中可以看出，德化白瓷的胎与我国北方唐、宋时期的诸窑白瓷相比有以下特点：

1．胎质高硅低铝，为高硅质瓷，这一特点使胎的烧结温度范围较窄，易使产品在高温下产生变形。

2．胎内含铁(Fe_2O_3)、钛杂质较低，是德化窑洁净纯白的主要因素，它在传统白瓷系统中是白度最高的产品(白度为 85～100%)。

3．胎内 K_2O 含量较北方白瓷和景德镇白瓷均高，约在 6～7% 之间，在高温阶段能形成较多的玻璃相，增加半透明的美感。由于钾玻璃在高温下的粘度变化较迟缓，尽管胎中玻璃相含量高，产品的变形还是少的，但如果烧成温度控制不当，亦容易使产品变形。

关于釉的化学组成，自北宋到清都是属于 K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2 系统、北宋早期釉内含 CaO 量较低(约 4～7%)，北宋晚期釉内 CaO 含量已增加到约 10%；一直到南宋、元代，釉内 CaO 含量保持 10～13% 之间；到明清时期，釉内 CaO 含量又显著降低到 5～7%，相应地釉中 K_2O 的含量提高。由于钾的离子半径(0.132nm)较钙离子半径(0.103nm)大，对提高釉的高温粘度和表面张力是有利的，因此明代德化白瓷有如玉似脂的感觉。图 6-11 示出了历代德化白瓷釉的 K_2O 与 CaO 含量变化。由图所示，宋、元时期的釉中含 CaO 较高，故釉有

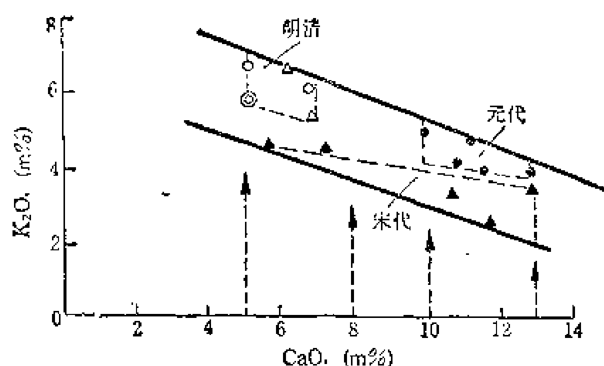


图 6-11　历代德化白瓷釉钾、钙含量变化

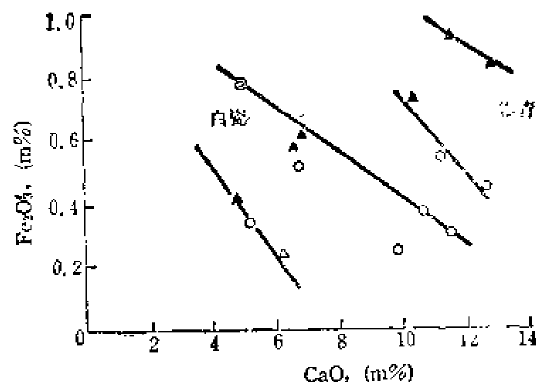


图 6-12　历代德化白瓷釉铁、钙含量变化

坚硬光亮的感觉，而明、清时期 K_2O 含量显然增高，CaO 含量明显下降。

图 6-12 示出了历代德化白瓷釉铁、钙含量的变化，从图中可以很明显地看出，北宋、南宋瓷器样品大部分釉内 CaO 含量较高，元代居中，明清较低。北宋、南宋瓷器釉色多呈影青，元代有影青瓷，也有乳白釉瓷，明、清多呈乳白色猪油白瓷，推其原因主要与烧成过程中窑内气氛有关，但与釉内含钙量的多少也有较大影响。因含钙量越高，在高温时其粘度越小，流动度越大，Fe_2O_3 的熔解度也越大，故 Fe_2O_3 含量相近的釉在同一条件下烧成时，往往含 CaO 量越高，釉色越深；反之，釉色则较浅。

历代德化白瓷有一共同的特点，即胎的透明度与北方白瓷和景德镇白瓷相比较高，其高的原因是由于胎内含玻璃相较多之故。从实物样品测得的结果来看，德化白瓷在胎的厚度一定时，透光率以元代的瓷胎最高，明、清次之，北宋、南宋最低，如图 6-13 所示。其透光率的大小与烧成温度的高低有直接关系，从物理性能测试结果也证明如此，即除近代的德化白瓷的烧成温度最高外(1290°C)，自北宋至清代各个时期，以元代最高(1280°C)，明、清次之，

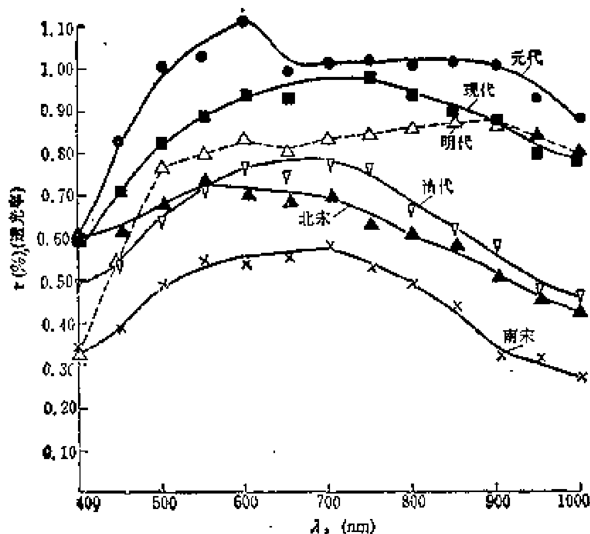


图 6-13　历代德化瓷瓷胎的分光透光率

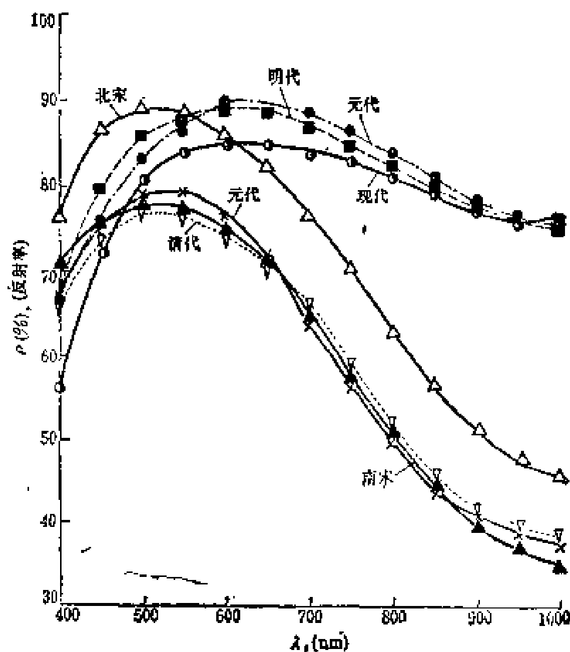


图 6-14　历代德化白瓷的分光反射率

为1270°C，北宋为1260°C，南宋较低，为1250°C。此外，透光度与采用含有石英、绢云母为主的制瓷原料以及胎中玻璃相的多少也有密切关系。

4．瓷釉的分光反射率

为了探明德化白瓷釉面在可见光谱下的外观呈色情况，并说明瓷器呈色与烧成的关系，所测定历代德化白瓷的分光反射率结果示于图6-14中。

图中，元代、明代及现代的瓷器样品的分光反射曲线均较接近，在波长大于600nm以上，一直到1000nm为止，即处在黄、橙、红区的波长值均高于北宋、元代和清代的白瓷样品的反射率值，说明前三种瓷器样品的胎釉中Fe^{3+}占多数，釉面呈白里泛黄的猪油白釉色；而后三种在波长600nm以后其反射值急剧下降，胎中Fe^{2+}占多数，故釉色白里泛青，这反映出烧成条件也不相同。在宋代和元代前期德化白瓷为还原焰烧成，元代后期开始至明代为氧化焰烧成，清代则氧化和还原焰烧成均有，近代样品则是采用氧化焰烧成。

历代德化白瓷由于使用原料不同，其显微结构与北方白瓷和景德镇白瓷在风格上也有显著的区别，其偏光显微镜观察的结果如图6-15所示。

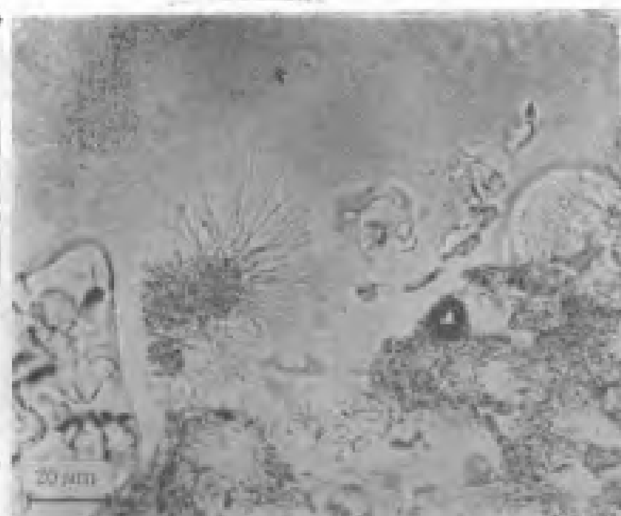
由图6-15得知，历代德化白瓷的胎内均含有一定量的游离石英，其中以宋代的样品中为最少，元代和清代样品中次之，明代瓷胎中含量最多。石英颗粒周围大都有熔蚀边，北宋和现代瓷胎中均有明显的莫来石晶体。所有瓷釉中均含有或多或少的钙长石晶体，且釉层均较薄，一般在0.1～0.2mm，釉层中含气泡和残留晶体均较少，胎、釉结合较紧密，因胎、釉中K_2O含量均较高，是一种典型的碱-灰釉，故釉的光亮度也较国内其他白瓷的光亮度高。

为了判断历代德化白瓷的质量，我们曾将其烧成温度、吸水率和白度进行了测定，其结果如表6-16所列。

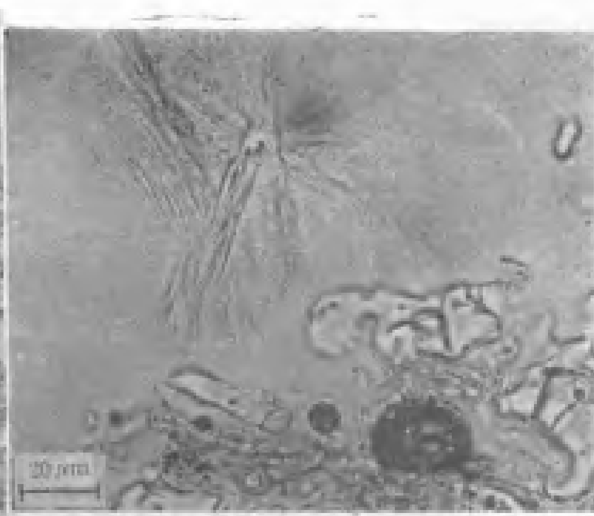
德化白瓷的烧成温度在北宋和南宋时期大都偏低(1250～1260°C)，但瓷化程度均较佳，

表6-16 历代德化白瓷的陶瓷工艺性能

样品编号	陶瓷工艺性能		
	吸水率(%)	烧成温度(°C)	白度(%)
$NST_1(2)$	0.1	1260±20	100
$NST_3(2)$	0.28	1260±20	85.02
$SST_1(1)$	0.71	1270±20	
$SST_3(1)$	0.87	1250±20	
YT_{12}	1.41	1260±20	
YT_{15}	1.18	1270±20	
$YT_7(1)$	0.27	1280±20	84.54
YG(2)	0.92	1270±20	
YG'(2)	0.12	1260±20	
$MT_8(1)$	0.58	1270±20	96.7
C14/58	1.43	1270−20	
C_{71}	1.22	1270±20	93.51
N 1	0.7	1290±20	92.51



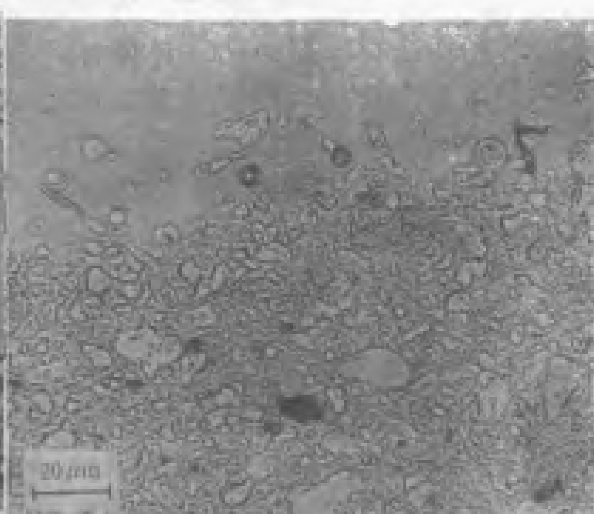
北宋白瓷 (1)



南宋影青 (2)



元代影青 (3)



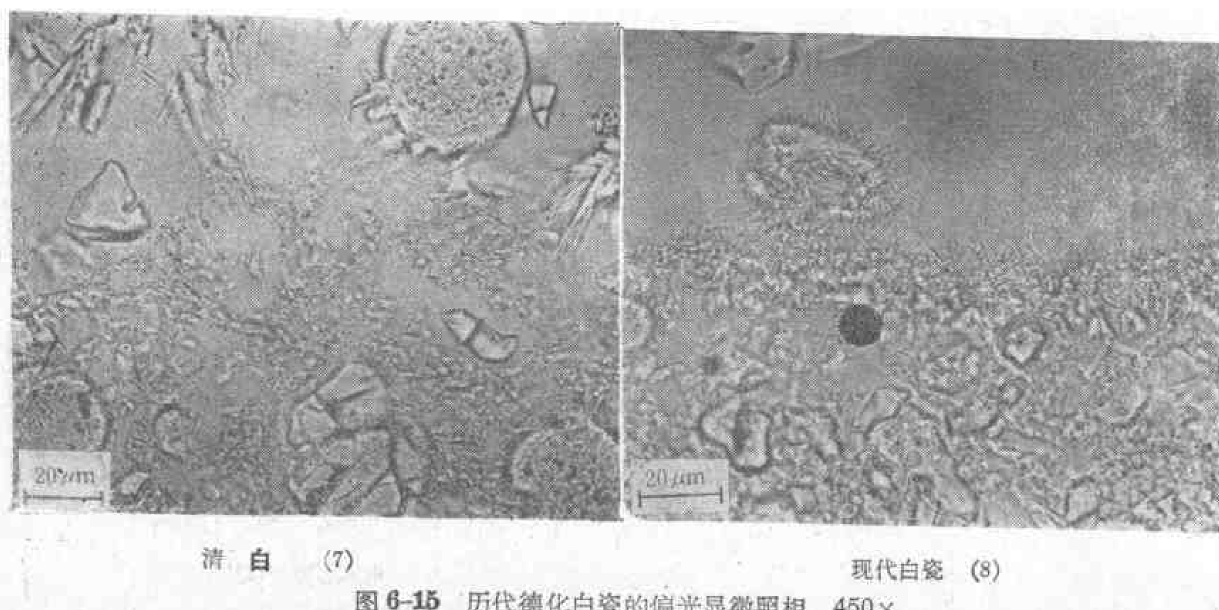
元代牙白 (4)



明代猪油白 (5)



明代猪油白(正加石膏板) (6)



清 白 (7) 现代白瓷 (8)

图 6-15 历代德化白瓷的偏光显微照相 450×

吸水率亦较低，白度在 85～100% 左右。元代早期瓷器的吸水率较大，到元代后期由于烧成温度的提高(1270～1280℃)，故瓷器的吸水率亦较低。明代白瓷的烧成温度仍高，故吸水率亦低，突出的是白度提高很多，可能系白里泛黄原因。清代瓷器的吸水率较高，瓷化程度较差，白度也开始下降，瓷器采用弱还原焰烧成。近代仿制的德化白瓷烧成温度更高(1290℃)，瓷化程度也好，白度较明代稍差。总之，历代德化白瓷的工艺性能中无论是烧结程度和白度，与北方和景德镇白瓷相比都是较高的，但从作者搜集的实物样品分析，产品变形的很多，可能是由于古代单用一类瓷石制胎，胎的烧结温度范围较窄之故。

原料是制瓷工业的基础，德化附近盛产瓷石原料，根据调查[20]，“德化瓷土皆由石英斑岩或长英岩等富含长石之岩石风化而成……但由其脉形之产状，可证为其较晚之侵入体风化而成者，近地表者，风化程度甚深，可作瓷胎，深处新鲜部分，可作瓷釉……德化瓷土，细磨漂净，即可直接制坯，不须调和其他原料，大都较软，故易变形”。又根据上述资料记载：“关于塑造佛像及观音之土，褒美土软，取自德化之四班，虽亦为火山岩系中石英斑岩侵入风化而成，但以硬土著称”。

总之，我国自隋唐出现白瓷以后，无一不是就地取材经过拣选、加工而制成的。北方多系利用一种或两种较纯的沉积粘土制胎，南方早期以一种或两种以上瓷石制胎，后期有些瓷区掺入部分风化高岭土制胎，因而南北方的白瓷具有显著不同的特点和风格。

南北方白瓷由于使用原料不同，故其胎、釉的化学组成、显微结构、工艺性能也有明显的差别。北方瓷胎多为高铝质的，含莫来石晶体较多，釉多为镁-灰釉；南方白瓷胎多为高硅质的，含绢云母较多，釉多为灰釉或灰-碱釉。

瓷器的烧成技术是制瓷的关键条件，如隋唐时期北方的邢窑、巩县窑和定窑白瓷，烧成温度都在 1300±20℃ 左右，因而瓷胎多致密坚硬，釉面白度、硬度都较高。北宋以后，南方的景德镇和德化的白瓷烧成温度也是逐渐提高的，明、清时已达 1300℃ 左右，并能熟练掌握氧化-还原气氛的烧成技术，因而结合当地原料特点而形成了独特的风格。

白瓷在装饰工艺上也有很多变化，隋唐时期多为素白瓷，至北宋除定窑白瓷始有刻花、印花、划花等装饰外，还有磁州窑，河南的当阳峪、鹤壁窑，禹县扒村、登封、密县窑，陕西的耀

州窑，山东的淄博窑以及江西的吉州窑等均有白地釉下黑花装饰的白瓷；到了元、明时期，景德镇在上述黑花装饰的基础上又发展了五彩缤纷的彩瓷（即釉下彩和釉上五彩），一直延续到清初，雍正、乾隆时景德镇又创制出了丰富多彩的粉彩瓷，这就使我国白瓷的制作技术与装饰艺术密切地结合起来，把日用白瓷提高到崭新的阶段。此外，具有"东方艺术"之称的福建德化"猪油白"瓷，不仅大量生产技艺精湛的雕塑瓷，而且还采用浮雕的形式装饰在餐、茶具及花瓶等器物上。我国白瓷生产尽管较青瓷稍晚，但它在长期的生产实践中亦逐渐成为我国陶瓷的主流。今后，随着国民经济的增长和科学技术的发展，白瓷的生产及其工艺技术的改进将会更加迅速，出现丰富多彩的新局面。

参 考 文 献

[1] 河南省博物馆、安阳地区文化局，"河南安阳隋代瓷窑址的试掘"，文物，No2, 1977

[2] 中国硅酸盐学会编，《中国陶瓷史》，p182，文物出版社，1982

[3] 刘新园、白焜，"高岭土史考"，中国陶瓷（古陶瓷研究专辑），No 7, 150～151, 1982

[4] 程在廉，"何处是邢窑"，河北陶瓷，p35, 1984

[5] 李家治、杨文宪、陈迹等，"河南巩县隋唐时期白瓷的研究"，内部交流，1982

[6] 同上

[7] 陈迹、李振汉，"巩县古白瓷制瓷工艺过程研究"，内部交流，1982

[8] 叶麟趾，《古今中外陶瓷汇编》，1934

[9] 冯先铭，文物，No7, 1959

[10] 河北省文化局文物工作队，考古，No8, 1965

[11] 李国桢、郭演仪，硅酸盐学报，Vol 11, No 3, p306, 1983

[12] 张进、刘木锁、刘可栋，"定窑工艺技术的研究与仿制"河北陶瓷，No 4, 30～32, 1983

[13] 河北省文物工作队，考古，No4, 1961

[14] 周和平、杨根、王莉英、李国桢，"磁州窑系白地黑花瓷的研究"，内部交流，1983

[15] 周仁、郭演仪、李家治，"景德镇制瓷原料及胎、釉的研究"，《景德镇瓷器的研究》，科学出版社，1958

[16] 周仁、李家治，硅酸盐，No2, 1960

[17] 宋伯胤，"谈德化窑"，文物参考资料，No4, 55～79, 1955

[18] 曾凡，"关于德化屈斗宫窑的几个问题"，文物，No5, 62～65, 1979

[19] 梅华全，"德化窑考古的新收获"，《德化瓷器史料汇编》上册，1980

[20] 高振西，"福建承春、德化、大田三县地质矿产"，福建省地质土壤调查地质矿产报告第三号，1941

第七章　低温颜色釉陶瓷

LOW TEMPERATURE COLOR GLAZED POTTERY AND PORCELAIN

颜色釉是我国名贵的传统陶瓷产品，品种繁多，占有极重要的地位。东汉的绿釉陶，唐代的三彩，宋代的青釉瓷、黑釉瓷，元、明的法华釉，琉璃釉，及至明、清，景德镇在各名窑瓷器的基础上又创造出了丰富多采的色釉瓷，如明代永乐、宣德的霁红、霁蓝，清代康熙的郎窑红、天青、豇豆红以及雍正、乾隆时期的仿汝、哥、官、钧、窑变等颜色釉，内容十分丰富，集我国陶瓷业的大成，不仅对我国瓷业的发展做出了极大的贡献，而且迄今对世界瓷业的生产仍产生极其深远的影响。

颜色釉的呈色无论在理论上和实际生产上都是复杂和难以控制的，其中有离子着色，也有胶体着色，还有因釉中组分产生液相分离，使着色离子在同一烧成条件下，会呈现出分布不同的色调和特殊的艺术效果。

我国传统颜色釉的制造中，大多使用过渡金属元素作为发色元素，如铁、钴、铜、锰等常用的元素，这一系列过渡金属的特点都是共价电子层由 $3d$ 电子所组成[1]。$3d$-系列的过渡元素(Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu 等)在陶瓷釉中基本上都是以离子着色，由于呈色因素比较复杂，一般在玻璃质釉中，主要起因于过渡金属络合物，在配位场的影响下，中心离子的 d 电子能级分裂，通过在不同轨道上的内部跃迁，对可见光谱中能量选择吸收的结果，产生了不同的颜色。此外，陶瓷烧成过程中的温度、气氛和压力等因素，是影响釉的颜色的不可忽视的重要条件。关于呈色机理的研究，除配位场理论外，近年来又采用电子自旋共振(ESR)原理和方法研究了 $3d$-电子过渡元素的种类和数量，同时进一步确定了发色离子的电价、配位及化学键的种类和强度[2]。

我国传统的颜色釉总括可分为两类，即以铅釉为基础的低温颜色釉和以钙釉(灰釉)或钙-碱釉(碱-灰釉)为基础的高温颜色釉。近年来，我国科学工作者对于颜色釉的总结和研究很多，并提出了许多新的认识和观点，这对开发和提高现有颜色釉的生产质量具有重要的现实意义。由于传统颜色釉的种类繁多，以铁离子着色的青瓷系统的色釉在第五章中阐述，本章主要阐述低温色釉品种。第八章阐述高温颜色釉。

我国低温色釉陶早在东汉时期(公元 25～220 年)即有以铜(Cu)着色的绿釉陶，之后又有唐三彩、宋绿釉、辽三彩，元、明的法华釉、琉璃以及广钧、宜钧、景德镇的炉钧等各种低温颜色釉品种，它们基本都是 Fe、Co、Mn、Cu 等为着色元素和以 $PbO-SiO_2$ 为基釉配制而成的五彩缤纷的色釉，这类色釉均施于素烧过的陶质胎上，经过较低的温度烧制而成。它们的应用范围很广，有殉葬品，有生活日用品、雕塑美术品以及装饰用的建筑砖瓦等。它的发展和创新对我国高温色釉瓷和日用细瓷中彩瓷的发展都有一定影响；而且，它本身的多种多样的变化和发展也是科学技术和艺术紧密结合的典型表现，别具一格的各类釉陶器，在我国陶瓷史上占有光辉灿烂的一页。

一、东汉绿釉陶

秦、汉陶器的生产在我国陶瓷史上是一鼎盛时期[3]，当时大量生产日用陶器，同时尚生产建筑用陶器和雕塑制品，如秦都咸阳宫殿遗址、秦始皇陵、咸阳杨家湾、西安任家坡等地发掘出了大量建筑用的空心砖、板瓦和瓦当，大批出土的陶马、武士俑以及大批的彩绘骑俑和侍女俑举世瞩目的、大型而生动活泼的雕塑人物、动物等。值得提及的是自西汉末年至东汉晚期，低温绿釉陶曾逐步由陕西推广到河南大批生产，这对陶瓷制釉技术的发展曾是一重大的创举。

低温绿釉陶又称铅釉陶，主要是在陶胎上施以低温铅釉烧制而成。铅釉是以铅的化合物与含硅质较高的矿物以及铜(Cu)、铁(Fe)等着色剂经过混合、熔融(约700℃)而成的铅硅酸盐玻璃质釉[4]。将此釉再施涂于陶器坯体，在窑内经高温(约1000℃)烧成后，即呈现光亮带有黄绿色的釉的釉陶，称为低温绿釉陶，其胎、釉的化学成分列于表7-1。

表 7-1 东汉绿釉陶的化学成分

名称	项目												
	化学组成 (m%)												
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	烧失	总量	吸水率(%)
东汉绿釉陶残片(胎)	65.78	15.85	6.23	0.99	1.84	2.19	0.13	3.30	1.60	0.10	0.74	98.04	12.6
汉“银釉”陶残片(胎)	61.11	14.44	4.90	0.77	5.73	3.36	—	2.60	1.74	—	4.80	99.45	11.2
东汉绿釉	33.88	6.20	2.31	PbO 46.89	CuO 1.26								
汉代“银釉”	31.32	1.90	2.02	60.31	—								

上述东汉绿釉陶胎的化学组成与地壳表面的黄土一类的易熔粘土的成分极为相似，从而可推知当时制陶用的原料主要为了便于就地取材而使用一种易取的粘土制胎，其胎的吸水率在11～13%之间，其烧成温度约在950～1000℃之间。

绿釉和银釉的组成内虽然均含有少量的 Al_2O_3，但是基本上还是偏硅酸铅($PbO \cdot SiO_2$)和正硅酸铅($2PbO \cdot SiO_2$)所组成的玻璃态，由此推知当时是以Cu、Fe为着色剂、用铅或铅的化合物与黄砂配合制成低温色釉的，这类低温色釉的出现，为以后铅釉系统的发展和以铅釉为基的彩的制作都起着十分重要的开拓作用。

二、唐三彩

唐三彩是在东汉绿釉陶的基础上发展起来的，它是以一种粘土作胎施多种彩釉的陶器制品，通常简称为“唐三彩”。

它在唐代多盛行为皇室墓中的随葬品，由于釉色绚丽多彩，产品种类繁多，其中除制作一部分瓶、罐、盘、壶等日用品外，还生产许多雕塑技艺高超的美术品，如各种人俑、马、骆驼等，不仅产品造型生动活泼，而且配以色釉艳丽的釉色，开创了色釉陶器的一个新局面。

根据文献记载，自1899年从洛阳唐墓中出土了一批唐三彩后[5]，才开始引起有关人士对它的重视。近几十年来，在河南、陕西等地又从墓葬和古窑址中发掘了大量出土的唐三彩，特别是1972年陕西省考古所和陕西省博物馆等单位[6~7]在陕西乾陵懿德太子和章怀太

子墓中发掘出1600余件，在昭陵郑仁太子墓中出土了百余件唐三彩陶俑，1977年河南省博物馆在河南巩县黄冶又发掘了唐三彩烧造窑址[8]，并出土了大批遗物。大量唐三彩样品的相继出土，标志着我国三彩陶器在古代制作规模和产量是相当大的，技术水平也是相当高的，曾经历过一个盛产兴旺的时期。

众所周知，唐三彩是采用二次烧成的彩釉陶，其制作工艺是将一种粘土经过塑造、雕捏等方法成型干燥后，入窑素烧，温度约1000～1100℃，然后再施以配制好的各种釉料入窑釉烧，温度约850～950℃。由于铅釉的折射率特别高，故唐三彩所呈现的五彩缤纷、光泽夺目的美感特别诱人。

根据1981年陕西省轻工业研究所对唐三彩胎的化学成分及物理性能的分析，试验结果如表7-2所列[9]。

表7-2　唐三彩胎的化学成分与物理性能

编号	名称	化学组成（m%）									物理性能			
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	总量	吸水率（%）	抗折强度（$\times10^5$Pa）	胎的素烧温度（℃）	釉烧温度（℃）
TB-1	河南巩县黄冶唐三彩	63.84	29.82	1.44	0.93	1.64	0.59	0.71	1.17	100.14	11.99	253.4	1100±20	950
TB-2	陕西乾陵唐三彩	65.90	27.85	1.15	1.21	1.48	0.55	1.32	0.51	99.97	13.32	124.2	1100±20	850

唐三彩的釉主要是以Fe、Co、Mn、Cu等过渡金属元素为着色剂在$PbO-SiO_2$或$PbO-Al_2O_3-SiO_2$组成的低温玻璃质釉熔体中呈现的釉色，一般属离子着色。

关于铅硅酸盐玻璃质釉的结构和特性近年来研究很多。大家知道，铅是一种重金属元素，它的离子半径大，核外电子层次多，电子云容易变形，因而铅玻璃的折射率和色散高，具有吸收各种辐射能等光、电特性。X射线研究结果表明，氧化铅晶体(PbO)是由1个铅离子和4个氧离子对向而形成的不对称棱锥形[PbO_4]的结构单元，如图7-1所示。

按Kreidl等人的推断[10]，铅原子为以十分明显的远程有序排列结构，彼此间相距约

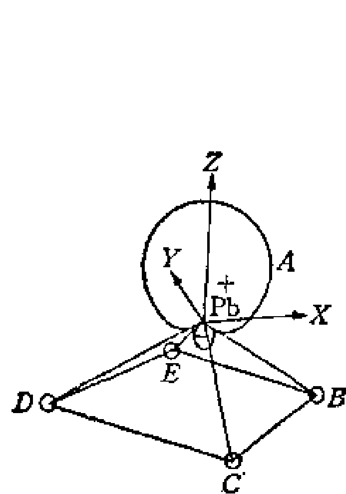


图7-1　PbO的结构排列

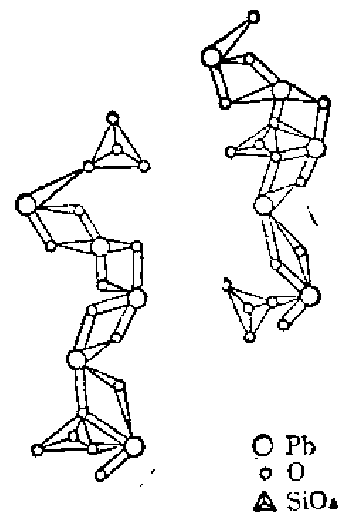


图7-2　高铅玻璃的链状结构

0.4nm，这就决定了釉具有较宽的熔融范围和高度的助熔性。在高铅玻璃质釉中，$[PbO_4]$锥形体通过公共顶角或棱边与$[SiO_4]$四面体构成螺旋形的链状结构，如图 7-2 所示。这样很容易理解铅硅酸盐玻璃(釉)为什么有电阻大、介电损耗小、光的折射率和色散高以及吸收辐射能的一系列特性，从而，唐三彩釉的绚丽鲜艳，光泽夺日也就容易解释了。

上述铅硅酸盐玻璃质釉的结构和特性无疑对过渡金属离子的呈色较之其他玻璃质釉有利的。尽管如此，唐三彩釉的呈色原因，仍然是引进釉中的过渡金属元素的价电子在 $3d$ 或 $4f$ 轨道中发生跃迁的结果，因此对可见光的选择吸收会导致各种色调。为了进一步探讨唐三彩的呈色，现将陕西、河南两地区出土的残片的釉的化学成分、分光光谱反射率分别列于表 7-3 和示于图 7-3。

表 7-3　陕西、河南古唐三彩釉的化学成分

编号	名称	化学组成 (wt%)										
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	CuO	CoO	K_2O	Na_2O	总量
Y-1	河南黄釉	35.61	20.81	4.18	微量	2.45	37.91	—	—	0.20	微量	101.16
Y-2	陕西黄釉	32.10	18.72	4.29	1.20	2.10	41.74	—	—	0.24	微量	99.75
G-1	河南绿釉	28.43	18.83	1.60	0.64	1.38	44.92	4.35	—	0.29	0.10	100.45
G-2	陕西绿釉	34.17	20.65	0.68	2.54	0.36	36.70	4.30	—	0.50	微量	99.90
B-1	河南蓝釉	34.40	19.05	1.07	2.28	0.54	42.11	—	1.23	0.30	0.10	101.07
N-1	陕西白釉	21.33	14.50	0.34	2.20	1.38	59.25	—	—	0.20	0.10	99.90

按照表中所列化学成分可知，唐三彩的釉是由 $PbO-Al_2O_3-SiO_2$ 系统为基的铅铝硅酸盐玻璃(釉)所组成，是以 Fe^{3+}、Cu^{2+}、Co^{2+} 等过渡金属离子为着色元素制成的，分别呈现黄、绿、蓝颜色的低温色釉，现就其在釉内呈色与光的反射情况讨论于下：

1. 铁的着色

一般认为，铁(Fe)在硅酸盐玻璃中往往是以 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 两种状态同时存在，常常由于氧化、还原条件的不同，其含量和比例也不相同，故呈现的色调也有差别。Fe^{3+} 的 $3d$ 轨道呈半充满状态，在近紫外区有一强烈吸收峰，因而釉呈黄绿色调；Fe^{2+} 在红外区有强烈吸收峰，故釉呈青蓝色。在实践过程中，也常常因釉的酸、碱性程度不同以及烧成时气氛性质的改变，会影响铁离子在釉中的存在状态而使釉的呈色也有显著的差别。在酸性较强的釉中，Fe^{+3} 离子易转变为 Fe^{2+}；在含 R_2O 或 RO 较多的碱性较强的釉中，由于 R-O 键强较弱，易释出游离氧[O]，故有利于着色离子保持高价状态。同时，在烧成过程中，与温度、时间、压力、气氛等因素也密切有关。在氧化气氛下易使 Fe^{2+} 转变为 Fe^{3+}；还原气氛下可使 Fe^{3+} 转变为 Fe^{2+}。事实上，从表 7-3 和图 7-3 所示数据表明，陕西、河南两地的唐三彩的黄釉主要是以 Fe^{3+} 离子在碱性的铅硅酸盐玻璃(釉)中经充分氧化焰烧制后的着色结果，且河南和陕西两地产的三彩中的黄釉的反射率曲线极接近，其 Fe^{3+} 离子着色后黄色程度也较相似。

2. 铜的着色

铜(Cu)在玻璃中和在釉中一样，有三种价态，即 Cu^{2+}、Cu^{+} 两种离子和金属铜(Cu^0)。其中，Cu^{2+} 离子具有 d^9 组态，发生单一的 $d-d$ 跃迁，且在红外光区有强烈的吸收带，可因玻璃的组成和熔制条件不同，使含铜玻璃的颜色由棕色变到蓝绿色，而在高钙质釉或钙碱质釉中铜常呈红色着色。凡有胶体状金属铜(Cu^0)粒子悬浮于玻璃中时，则玻璃产生铜红宝石颜色。铜在釉中的着色与含量和气氛的关系很大，当釉中铜含量低时，如在 1% 以下，在还原气氛

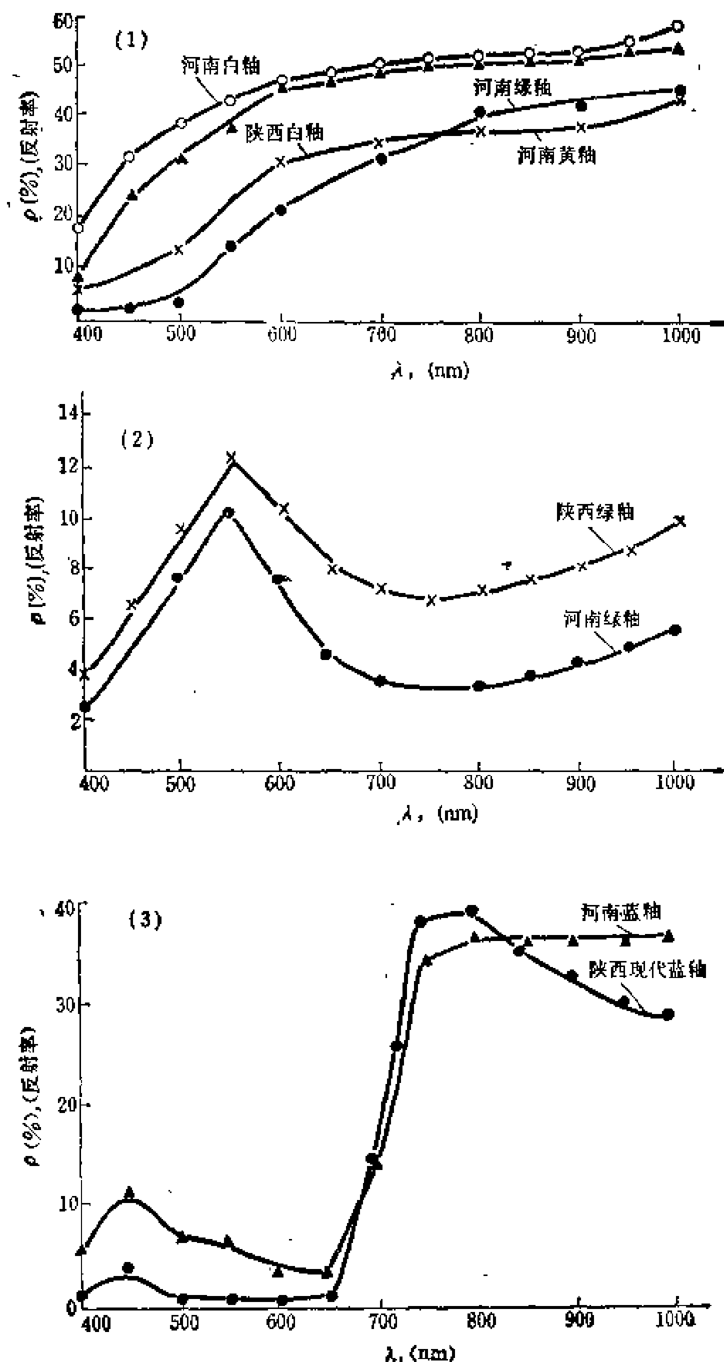


图 7-3 陕西、河南古唐三彩釉的分光光谱反射率

下烧成呈红色，易于全部被还原到低价状态；当含量增高时，如在 3% 以上，即使在还原条件下烧成也呈现绿色，因大部分铜不能呈低价状态存在，仍然为高价 Cu^{2+} 着色。Cu^{2+} 在铅玻璃中时则呈绿色[11]，1971 年[12] 斯特劳德 (Stroud, J. S.) 测量了铅玻璃中 Cu^{2+} 的吸收带位于 0.775 μm。1972 年 Edwards. R. J. 等对于一组组成为 $15Na_2O \cdot xPbO(85-x)SiO_2$ 铅硅酸盐玻璃中 Cu^{2+} 的吸收进行了测定，其结果为在 12500 cm^{-1} (0.80 μm) 吸收带的强度随 PbO 含量的增加而增加，这是由于玻璃结构中共价键键强增强的缘故，如图 7-4 所示[13]。

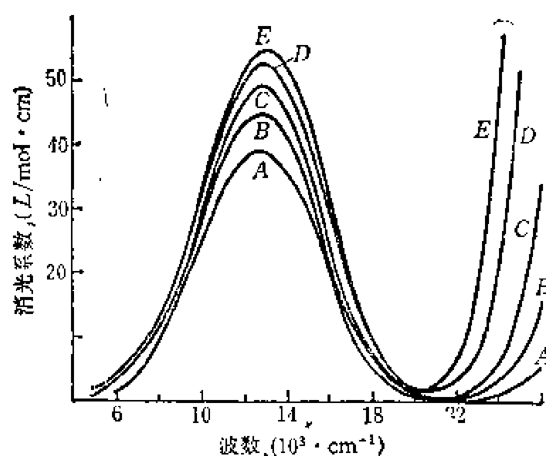


图 7-4　Pb-Na 硅酸盐玻璃中 Cu^{2+} 的吸收光谱图

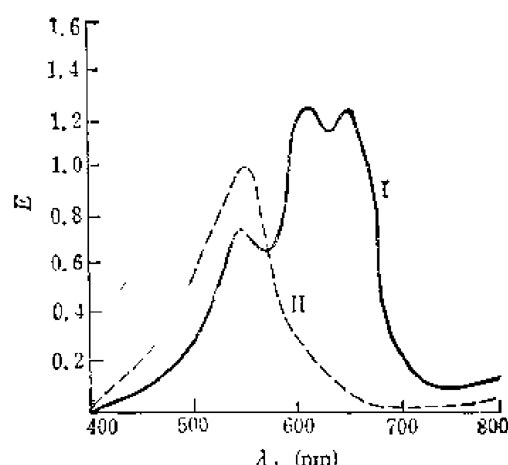


图 7-5　Co^{2+} 4 配位和 6 配位的光谱特性
I—4 配位[CoO_4]; II—6 配位[CoO_6]

唐三彩绿釉的形成原因基本与上述解释是一致的，根据我们测得的结果，如图 7-3 中(2)所示，即在 500～600 nm 波长范围内，有一强度较高的蓝绿色吸收带，至 700～1000 nm 时，红外光吸收带有逐渐增强的趋势，由此可以说明，唐三彩绿釉的呈色主要是 Cu^{2+} 离子着色的结果。

3．钴的着色

钴(Co)离子在玻璃(釉)中的着色，通常以 $Co^{2+}(d^7)$ 离子状态存在，由于它在玻璃中不变价，故呈色稳定，不受玻璃成分和烧制工艺条件的影响。Co^{2+} 可有 4 配位[CoO_4]和 6 配位[CoO_6]两种状态，其光谱特性如图 7-5 所示。4 配位的钴在 620 nm 处有一大的吸热带，颜色偏蓝；6 配位的钴在 550 nm 处有一吸热带，颜色偏紫。在玻璃和釉中一般多以 4 配位的钴出现，6 配位的钴较少。Co^{2+} 离子在铅玻璃中着色时，因铅玻璃多为碱性铅玻璃，比酸性玻璃有利，但根据我们实际测得的结果(如图 7-3 所示)，河南巩县唐三彩蓝釉的分光反射曲线在 400～500 nm 波长之间有一较显著的吸收带，说明在蓝色中还有紫色的成分出现；而在 700 nm 波长以后有一突出吸收带，说明它有蓝中带红的色调，这可能是由于使用的原料不纯，使 Co^{3+} 离子在唐三彩铅釉中形成钴四面体络合物的缘故。

4．唐三彩白釉

根据表 7-3 所列的分析数据，唐代河南、陕西两地的唐三彩白釉是以铅的化合物与含铁量低的白色粘土所配成，不加入任何着色剂。从图 7-3(4) 中很明显显示出，陕西、河南两地唐三彩白釉的分光反射率基本接近，故其白度亦甚近似。

三、宋三彩

宋三彩是唐三彩的继续，由于出产于宋代而称宋三彩。宋代，在我国北方磁州窑的观台、河南登封曲河、鲁山段店、禹县扒村、宝丰青龙寺诸窑均有较多的宋三彩出土器物，如枕、炉、洗、盆和盘等，其中以枕、炉多见。素胎有印花、刻花和划花等装饰，且多经素烧，后再施以多种色泽鲜艳的低温铅釉，釉烧温度约 850°C，釉色有黄、绿、白或黄、绿、褐色相互搭配。此外，扒村窑中还发现有红、黑两色的，所谓宋三彩实际上不只是三彩。

典型的宋三彩胎釉的化学组成分析结果列于表 7-4。

表 7-4 宋三彩绿釉陶的胎釉化学成分[14]

名称	化学组成 (m%)											吸水率 (%)	釉层厚度 (mm)
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PbO	CuO	总量		
宋河南扒村窑陶胎	64.09	23.22	2.90	1.35	0.70	0.55	2.08	0.35	1.95	—	100.19	12.33	—
宋河南扒村窑绿釉	32.26	4.83	1.41	—	2.24	0.47	0.65	0.31	54.84	2.80	99.81	—	0.25

从上述的化学成分推知，宋三彩的胎与唐三彩甚接近，也是由一种粘土或页岩粘土组成；其釉则是以 $PbO-SiO_2$ 为基础的釉，其含铅量较唐三彩低得多。适当引入铁的化合物或含铁的赭石类矿物即可制成黄色的彩色釉；绿色是以 Cu^{2+} 作为着色离子；褐色则增高铁含量即可。这种色釉不必制成熔块，其呈色机理和唐三彩的釉基本上是相同的。

四、辽三彩

唐、五代以后，在我国极北部由契丹族于公元 916 年开始建立和北宋并立的政权机构，又称辽国。它的统辖版图东至日本海，西至阿尔泰山，北至克鲁河，南至今河北、山西两省的北部。契丹族是我国北方的一个游牧民族，由于版图的扩大，今之山西大同(云州)、北京(幽州)、定县(定州)、邯郸(磁州)以及河南的开封(汴州)等地均划入辽的势力范围。根据《辽史·肖阿古只传》记载："天赞初*，与王郁略地燕、赵，破磁窑镇"。当时北方瓷业中心的定、磁州两地许多制瓷工人被俘去辽，同时又因契丹族已逐渐由游牧生活转向定居生活，故辽之陶瓷业随之而兴起，特别是定窑对它的影响尤大。

辽代瓷窑分布甚广，这些瓷窑不都烧制三彩陶器，有些烧制白瓷或其他色釉陶瓷。根据近年来对辽代古窑址的调查和发掘结果，主要有以下几处窑址：

1. 赤峰缸瓦窑

位于今辽宁省赤峰市西城子屯，窑场规模较大，烧造时间较长，产品以白瓷为主，还有白地黑花瓷，其余为三彩色釉器，胎上施有化妆土，三彩亦为黄、绿、白三色，其釉色优者可与唐三彩相媲美。

2. 林东辽上京窑

窑场位于今辽宁昭乌达盟巴林左旗林东镇南一公里辽上京临潢府故城内的皇城内，规模很小，烧造时间较短，产品以白釉和黑釉瓷为主，但质量很好，在技术上受定窑的影响。此外，还生产少量低温绿釉陶器。

3. 林东辽上京南山窑

窑场位于辽上京临潢府故城西南一公里，以烧三彩釉陶器为主，还有单色和低温白釉陶器。胎质细软，呈黄褐色，故施以化妆土，再施黄、绿、白三色和单色釉，色泽不够鲜艳。白釉呈乳白，产品以碗、碟较多，盆、钵较少见。

4. 林东白音戈勒窑

窑场在林东镇西约 2 公里的白戈勒村，规模较大，产品以瓮、罐较多，釉色以黑釉，茶叶末、绿釉较多。

* 天赞——辽黄帝年号，约为公元 922～926 年

5．辽阳江官屯窑

窑址在辽宁省辽阳市东燕州城河南江官屯，以烧白釉为主，并有少量白釉黑花。胎质较粗，产品除杯、碗、盘、瓶、罐外，还有人、犬、马、骆驼等雕塑品，烧造时间为辽代晚期，盛于金代。

6．抚顺大官屯窑

主要烧造黑釉器，产品多为普通日用品，产量较大，烧造时间较长，一直延续到金、元时期。

7．北京龙泉务窑

窑址在今北京西郊门头沟北6公里的龙泉务村。窑场规模占地面积约3000 m^2，东西长约200 m，南北宽约150 m。产品以烧造白釉为主，黑釉、酱釉和褐釉次之。胎质莹白坚硬细腻，在技术上受定窑影响很深，很有可能是辽代官窑。

辽瓷器型甚多，装饰别致。它不仅生产中原形式的杯、碗、盘、碟、壶、瓶等，而且还生产适合契丹形式的鸡冠壶(又称皮囊壶)、鸡腿瓶、长颈瓶、穿带壶以及海棠花盘、暖盘、三角形蝶和方蝶等。器物多以划花、刻花、印花等装饰技法进行装饰，种类之多不胜枚举。表7-5列出了近年来辽宁省硅酸盐研究所对辽三彩釉陶的胎、釉化学分析结果。

表7-5　辽三彩胎、釉的化学组成[15]

样品名称	样品编号		化学组成 (m%)													
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	烧失	MnO	NiO	CuO	CoO	PbO
三色印花纹大碗	LSC-2	胎	63.33	27.04	2.15	1.06	2.75	0.52	1.76	0.84	0.93					
		白釉	42.56	10.29	0.43	0.10	0.96	0.11	0.01	0.46		0.01	0.41	0.06	0.09	43.91
		绿釉	33.28	3.45	1.43	0.05	0.93	0.12	0.49	0.24		0.01	0.14	2.09		57.22
黄釉碗残片	LSC-3	胎	59.55	29.54	1.80	1.14	3.43	0.37	1.21	1.15	1.67					
		黄釉	33.03	6.58	3.53	0.05	1.01	0.14	0.67	0.39		0.01	0.09	0.06		53.67
绿釉鸡冠壶	LSC-4	胎	61.62	28.19	2.43	0.81	2.78	0.52	1.52	0.60	1.70					
		绿釉	35.87	7.42	0.75	0.01	0.51	0.08	0.47	0.22		0.01	0.02	1.39		45.95
黄釉碗残片	LSC-5	胎	62.84	28.67	2.10	1.27	2.03	0.39	1.04	0.98	0.91					
		釉	33.56	7.07	4.03	0.04	1.10	0.08	0.39	0.27		0.02	0.07	0.20		52.71
辽三彩化妆土	2#		55.98	31.35	1.33	1.18	2.74	0.77	1.78	1.49	2.95					
辽三彩化妆土	4#		48.95	34.71	1.13	0.93	1.91	1.60	0.60	1.12	3.76					
原料			57.18	29.03	1.73	0.71	1.78	0.47	1.39	0.53	6.50					

从分析结果可见，辽三彩亦属于与唐三彩同类的低温釉陶，它是在继承唐、宋三彩釉陶技术的基础上发展起来的。辽三彩陶器与唐、宋三彩陶器相比，由于所用的粘土原料不同，其胎有较明显的差异。一般辽三彩的胎多为黄砂胎、胎质较粗糙，均施有一层白色化妆土。施釉后，烧成温度较高，釉面不平，表面常有凸起的砂粒。釉的着色机理基本相同，都是以过渡元素Fe、Cu等离子着色。釉的流动性较小，因此光泽差，颜色不够鲜艳。唐三彩的釉色主要为黄、绿、蓝、白四种，辽三彩与宋三彩相比，釉色均以黄、绿、白三种为主，且装饰技法和

器物风格亦与唐、宋三彩迥然不同。

辽三彩的白釉中的着色氧化物含量很低，釉中 PbO 的含量为 48～57%。胎中 Fe_2O_3 含量很高，化妆土中则较低，但也大于 1%。由于表面上的三彩釉较厚，又有着色，所以对化妆土的要求并不高。化妆土的含铝量都较高，含硅量均低，这表明所用化妆土原料较制胎用原料更纯、更细些，即石英等矿物杂质含量少，粘土矿物含量较高。

五、琉璃

琉璃在我国有两种不同的涵意，一种是指古代的类玻璃制品；另一种是指低温铅釉质釉陶制品，本节所述的琉璃系指后者，即低温彩色釉陶。琉璃在战国时期已有发现，隋、唐、宋、辽均有制造，至明代才在山西盛行，永乐（公元 1403～1424 年）始迁至北京。琉璃除大量用于建筑外，在明代还烧制宫庭用的盆、缸、盘、坛等器物，现山西大同市洪武九年（公元 1376 年）雕造精制的九龙壁，是明代琉璃的代表作，釉色有黄、绿、紫、蓝等。它的制作方法基本上也是在唐三彩的基础上发展起来的。胎为粘土质陶胎，釉是以 Fe、Cu、Co、Mn 等过渡金属元素为着色剂加入 PbO-SiO_2 为基的釉制成的，一般采用二次烧成。琉璃的大量生产对我国建

表 7-6　历代琉璃胎的化学组成及其物理性能

编号	名称	化学组成 (m%)									吸水率 (%)	抗折强度 ($\times10^5$Pa)	素烧温度 (°C)
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	总量			
11	宋代琉璃胎体	65.91	30.10	0.71	—	0.43	0.23	1.24	0.72	99.34	17.62	166.95	1030
12	北宋琉璃胎体	59.71	28.71	6.41	1.35	0.80	0.37	1.51	9.69	108.55	11.77	121.80	1250
13	元代琉璃胎体	65.60	16.06	4.05	0.81	7.93	2.31	2.57	1.62	100.95	13.52	172.40	1110
14	明代琉璃胎体	65.80	25.93	1.37	1.35	0.32	0.36	2.84	0.75	98.72	14.57	109.4	1120
15	清代琉璃胎体	76.69	17.84	1.57	1.05	0.23	0.45	1.59	0.35	99.77	4.53	202.1	1260
16	清代琉璃胎体	67.34	21.60	3.13	1.43	1.35	1.11	1.98	0.85	98.79	20.34	89.4	1090
17	清代琉璃胎体	69.90	24.23	1.05	0.57	0.80	0.59	1.64	0.22	99.00	13.31	162.7	1130

表 7-7　历代琉璃釉的化学组成及其物理性能

编号	名称	化学组成 (m%)											釉层厚度 (mm)	釉烧温度 (°C)
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PbO	CuO	总量		
4-g/13	元代绿釉	34.22	4.25	0.32	0.05	0.51	0.08	1.90	0.17	56.88	2.28	100.66	0.10	847
5-g/14	明代绿釉	30.35	5.23	0.17	0.65	0.40	0.13	0.18	0.74	60.04	3.46	101.35	0.10	747
6-g/14	明代绿釉	45.51	3.52	0.37	0.05	0.66	0.14	7.38	4.27	34.73	3.35	99.98	0.1～0.2	895
7-g/15	清代蓝釉	60.63	4.51	0.73	0.13	11.35	1.42	0.72	9.90	1.35	0.10	99.84	0.20	1150
8-g/17	清代黄釉	35.74	5.48	2.93	0.23	0.46	0.23	0.67	0.39	53.57	0.06	99.81	0.50	1042
9-g/14	明代绿釉	36.63	2.91	1.32	0.07	0.15	0.20	2.36	4.10	51.62	0.59	99.97	未测	788
10-g/14	明代绿釉	24.58	4.50	4.57	0.15	0.46	6.10	0.24	0.35	59.86	4.44	105.25	0.20	835

筑业的发展和建筑物及城镇的美化起着重要作用。

根据1982年建筑材料科学研究院对中国古代建筑陶瓷的初步研究[16]，琉璃釉陶的胎、釉化学分析结果列于表7-6和表7-7。

从表7-6与表7-7可知，唐、宋、元、明时期琉璃陶坯体的素烧温度为1050～1140°C，釉烧温度为747～900°C，胎的吸水率除15#胎较低外，其他均为13.31～20.34%，抗折强度为109.4～172.4×10⁵Pa，与唐三彩胎、釉的物理性能均甚相近。其釉的化学组成及釉色光泽与唐三彩亦很接近，但与宋、辽三彩釉陶相比有较大的进步，不但颜色品种较多，釉的光泽也较鲜艳绚丽，这是日用陶瓷工艺移植到建筑陶瓷生产上的巨大成就。

六、法华釉

法华釉陶在我国山西元代已有制作，明代开始盛行，它是在琉璃的基础上发展起来的低温色釉的一种，故它的胎的化学组成和釉的着色剂（Fe、Cu、Co、Mn）以及采用二次烧成工艺都基本上与琉璃一样，所不同者是釉的助熔剂不是铅而是用牙硝（KNO_3），其色以法蓝、法翠、法紫诸色为主，间有黄、白等色。法华釉陶的装饰技法独特，与唐三彩有所不同，它采用彩画中的立粉技术，在陶胎表面上用特制带管的泥浆袋，勾勒成凸线的纹饰轮廓，然后分别以黄、绿、紫等釉料填出底子和花纹色彩，入窑烧成[17]，故有突出花纹的艺术效果。山西所制的法华器一般多为花瓶、香炉、动物雕塑等器物。

景德镇在明代嘉靖（公元1522～1566年）年间开始仿制法华器[18]，但与山西法华不同。山西法华系用陶胎，景德镇仿制法华系用瓷胎，这在工艺和质量上是一重大改革。其法华器物饰以人物、花鸟、瓶、罐、钵等，品种更加丰富。

现代景德镇制作的法华器，是在1954年为中德技术合作总结景德镇制瓷技术资料时才开始恢复和进行科学总结的[19]，它是先在成形好的坯体表面上刻划出花纹图案的轮廓线条，然后以毛笔蘸瓷料泥浆在纹样轮廓线中堆画成一定高度的纹样线条，入窑高温（1280～1320°C）烧成，使其成为致密的素胎。出窑后，再在堆好纹样线条的轮廓内，按照纹样的不同要求填上不同色釉料，装入匣钵内入窑烧成，温度约950～1050°C。现代景德镇法华器的胎釉的分子式如下表所列：

法华器胎的配方及化学式

$$\left.\begin{array}{l}0.019\ CaO\\0.024\ MgO\\0.015\ Na_2O\\0.190\ K_2O\end{array}\right\}Al_2O_3\left\{\begin{array}{l}5.58\ SiO_2\\0.005\ TiO_2\end{array}\right.$$

配方

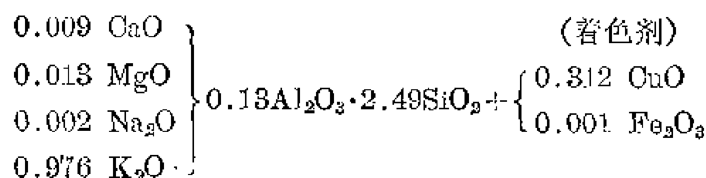
星子高岭 27.9%

祁门瓷石 72.1%

钴包青（又名法紫）釉的化学式

$$\left.\begin{array}{l}0.013\ CaO\\0.012\ MgO\\0.002\ Na_2O\\0.964\ K_2O\\0.009\ BaO\end{array}\right\}0.090Al_2O_3\cdot 2.44SiO_2+\underbrace{\left\{\begin{array}{l}0.001\ CuO\\0.007\ CoO\\0.014\ Fe_2O_3\\0.123\ MnO\end{array}\right.}_{\text{(着色剂)}}$$

孔雀绿（又名法翠）釉的化学式



胎的化学式与景德镇细瓷胎相同，毡包青釉的主要着色剂是 MnO 与 Fe_2O_3，孔雀绿釉的着色剂主要是 CuO，基础釉是 K_2O-SiO_2 系统为基的釉。

七、景德镇素三彩

景德镇在明代中叶以后，低温色釉的发展日益增多，不仅仿制了法华釉，而且还制作了黄、绿、紫三色釉，称“素三彩”。此外，在素三彩的基础上用低温彩釉装饰瓷器的方法不断创新和发展，如有黄地绿彩、紫彩，紫地黄彩和绿地紫彩等等。传世品中，有成化时期的紫地方龙大盘、弘治时期的娇黄锥花绿彩、嘉靖时期的黄地红龙贡碗、万历时期的紫地黄白彩珠龙碗、黄地紫白彩的龙纹皿、绿地黄花穿花凤有盖罐等器物。这些器物不仅表明明代低温色釉的独特风格，而且有力地说明当时发展和创新的盛况[21]。

明代景德镇素三彩尽管是在唐三彩、宋三彩、法华釉等技术基础上发展起来的，但它的制作工艺既不同于唐、宋三彩，又不同于法华釉。它是在高温(1280～1320°C)素烧的瓷胎上施以 Fe、Cu、Mn 元素为着色剂的铅釉低温色釉瓷，一般釉烧温度为 850～900°C。所烧产品制作精良，釉色光润鲜艳，具有独特风格，开创了我国高温素烧、低温釉烧瓷器的新方法。

素三彩釉的化学组成列于表 7-8，其配方如下：

1．黄釉(亦称浇黄)

铅粉[$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$]	79%
石末(SiO_2)	15%
赭石	6%

2．绿釉(浇绿)

铅粉	70.59%
石末	23.58%
铜花	5.88%

3．紫釉(浇紫)

铅粉	77.78%
石末	16.67%
叫珠子*	5.55%

景德镇在明代正德年间制作的素三彩釉极为精致，它的制作是在白瓷胎上先进行线描、刻绘，再加彩低温烧成。延续到清代康熙年间(公元 1662～1722 年)，景德镇的素三彩进一步得到发展，它的彩色不仅有黄、绿、紫三种，而且还有蓝彩和雪白**等。加彩方法更是多样，有在素烧过的白瓷胎上直接加彩，然后再罩上一层雪白，用低温烧成(约 850～900°C)。也有在白釉瓷上涂一层色地，然后再加彩料，如黄地加绿、紫、白彩，绿地加黄、紫彩等。此

---

* 叫珠子是江西赣州产的一种钴土矿，其中含锰量高达 20% 以上，含铁量及含钴量分别为 4.65% 和 1.26%，故釉呈紫色。

** 雪白是用铅彩和石英熔制成的低温透明玻璃，即 PbO-SiO_2 玻璃粉。

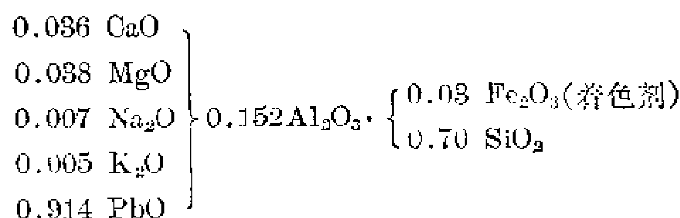
表 7-8　素三彩釉的化学组成*

名称	化学组成 (m%)													
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	PbO	BaO	CuO	CoO	MnO	NiO	总量
黄釉(浇黄)	16.18	0.60	2.22	0.08	0.06	0.02	0.15	80.67						99.98
绿釉(浇绿)	22.09	0.12	0.03	0.10	0.04	0.03	0.14	72.38		5.08				100.01
紫釉(浇紫)	17.43	1.08	0.26	0.08	0.05	0.015	0.014	79.72	0.05		0.06	1.05	0.01	99.82

* 本表系根据原料分析结果计算所得。

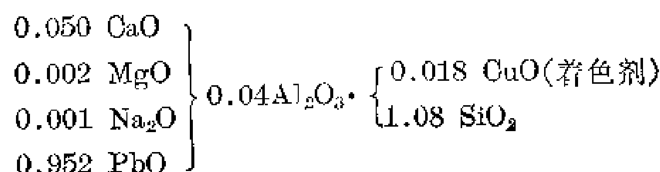
外，还有一种墨地的素三彩器。总之，康熙时期的素三彩不但继承了明代制瓷工艺的优良传统，而且在器型设计和装饰技法方面均有新的发展。

浇黄釉的化学式



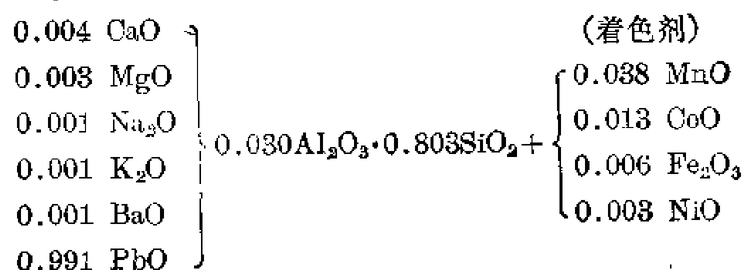
$$\left.\begin{matrix}0.036\ CaO\\0.038\ MgO\\0.007\ Na_2O\\0.005\ K_2O\\0.914\ PbO\end{matrix}\right\}0.152Al_2O_3\cdot\left\{\begin{matrix}0.03\ Fe_2O_3(\text{着色剂})\\0.70\ SiO_2\end{matrix}\right.$$

浇绿釉的化学式



$$\left.\begin{matrix}0.050\ CaO\\0.002\ MgO\\0.001\ Na_2O\\0.952\ PbO\end{matrix}\right\}0.04Al_2O_3\cdot\left\{\begin{matrix}0.018\ CuO(\text{着色剂})\\1.08\ SiO_2\end{matrix}\right.$$

浇紫釉的化学式



$$\left.\begin{matrix}0.004\ CaO\\0.003\ MgO\\0.001\ Na_2O\\0.001\ K_2O\\0.001\ BaO\\0.991\ PbO\end{matrix}\right\}0.030Al_2O_3\cdot0.803SiO_2+\overset{(\text{着色剂})}{\left\{\begin{matrix}0.038\ MnO\\0.013\ CoO\\0.006\ Fe_2O_3\\0.003\ NiO\end{matrix}\right.}$$

八、低温钧釉陶瓷

低温钧釉是明、清时期我国江苏宜兴、广东石湾、江西景德镇等地在河南钧窑影响下结合当地条件创制的产品，在我国低温颜色釉中有其独特的风格。

1. 宜兴钧釉陶

是在明代欧窑传统基础上发展起来的产品，在清代乾隆、嘉庆年间继续发展和大量制造，产品以花盆、瓶、火钵、水盂等为最多。由于它的釉彩丰富、色泽光润、蓝青相间、变化多样，极似古钧釉风味，有窑变之称，故谓宜钧。由于宜钧制作精良，技艺手法甚多，给以人浑厚朴实之感，清代已传至欧洲和日本，在我国陶瓷史上占有一定的地位，迄今仍继续生产。宜钧的呈色机理与钧窑釉相同，也是釉在低温烧成时液相分离的结果。

2. 广钧釉

也系低温釉陶的一种，出自广东佛山石湾窑，明、清时期即已生产。釉色变化莫测，其特

点与河南宋钧窑变相似，故称广钧。

石湾钧釉以蓝色、玫瑰紫、墨彩、翠毛釉等色为最佳，值得提及的是石湾钧釉有底釉和面釉之分，底釉一般为铁锈色釉，低温烧成后底釉和面釉相互渗透，因釉色较深，釉层较厚，釉面晶莹润泽，在蓝釉中常流淌成葱白色，如雨点状，装饰十分美丽。广钧产品种类甚多，除盘、碟、笔洗、花盆外，还生产以"渔、樵、耕、读"为主题的陶塑，为石湾窑的典型产品，可以说，石湾窑的仿钧有创造性的发展。

3．景德镇炉钧釉

创始于清代雍正，盛行于雍正、乾隆时期[21]。《景德镇陶录》记载："今镇所仿钧器，土质既佳，瓶罐尤多美者"。景德镇还兼仿"宜钧"，称为"炉钧"，《南窑笔记》记载："炉钧一种，乃炉中所烧，颜色流淌中有红点者为佳，青点次之"。《景德镇陶录》又载："炉钧釉，色如东窑、宜兴挂釉之间，而花纹流淌变化过之"。从以上文献记载可见，景德镇炉钧釉是在明、清时期的素三彩、釉上彩的基础上发展起来的，工艺特点与宜钧、广钧有所不同。它是在高温烧成的白瓷胎上，将不同的釉上颜料配成不同的色釉施于白瓷面上，再在低温烤花炉中二次釉烧而成的。因其釉色变化极似古代钧釉，一般称之为炉钧。其优点是胎为瓷质，机械强度较唐三彩、宋、辽、明、清三彩釉陶大得多。这在我国低温颜色釉中具有独创的风格，也是低温色釉由陶转为瓷在技术上的改进和发展。

参 考 文 献

[1] P. Balta, E. Balta.,侯立松等译,《玻璃物理化学导论》, p273,中国建筑工业出版社, 1983

[2] B. Canara,陈显求译,"电子自旋共振及其在陶瓷中的应用",瓷器,p 63, 1981, 2

[3] 中国硅酸盐学会,《中国陶瓷史》p 106～114,文物出版社, 1982

[4] 张福康、张志刚,"中国历代低温色釉和釉上彩的研究",硅酸盐学报,8[1], p9, 1980

[5] 梅健鹰、李英武,"唐三彩",文物,[2], 1970

[6] 陕西省考古所,"唐懿德、章怀太子墓发掘简报",文物[7], 1972

[7] 陕西省博物馆,"唐郑仁泰墓发掘简报",文物,p33 [7], 1972

[8] 刘建邦、刘近洲,"巩县黄冶唐三彩窑址试掘",河南文博通讯,p44(1), 1977

[9] 李国桢、陈乃鸿、邱风娟、曾凤琴,"唐三彩的研究",中国古陶瓷学术国际讨论会展讲稿,上海,1982

[10] P Balta, E. Balta.,侯立松等译,《玻璃物理化学导论》, p183, 中国建筑工业出版社,1983

[11] 西北轻工业学院,《玻璃工艺学》.p166,轻工业出版社,1982

[12] Stroud J.S., J. Am. Cer. Soc, 54, 401, 1971

[13] Edwards R. J., Paul A. and Douglas R. W., Phys. Chem. Glasses, 13, 131, 137, 1972

[14] 张福康、张志刚,硅酸盐学报, 8[1], p9, 1980

[15] 辽宁省硅酸盐研究所,"辽瓷新品种研制",内部通讯,p 5～18, 1982

[16] 张子正、车玉荣、李英福、盛厚兴,"中国古代建筑陶瓷的初步研究",第一届中国古陶瓷学术国际讨论会论文,上海,1982

[17] 高寿田,"山西琉璃",文物,[4～5],1962

[18] 中国硅酸盐学会,《中国陶瓷史》,p396～397,文物出版社,1982

[19] 轻工业部硅酸盐工业管理局,"瓷器资料",p26～27, 1956

[20] 潘文锦,"明代景德镇几种色釉的特点与工艺",中国陶瓷(古陶瓷研究专辑),p 73～76[7], 1982 年增刊

[21] 中国硅酸盐学会,《中国陶瓷史》,p 433～434,文物出版社,1982

第八章　高温颜色釉瓷

HIGH TEMPERATURE COLOR GLAZED PORCELAIN

高温颜色釉瓷是指在高温下烧成的各种色釉瓷器。这类瓷器的制作工艺难度较高，使其颜色稳定和控制其艺术效果更是不易。因此，其制作的奥秘曾引起世界各国的注目、探讨和仿制，从而对各国陶瓷技术的发展也产生了深远的影响。

我国高温色釉瓷出现在东汉，发展到宋代，除定、汝、官、哥、钧五大名窑外，北方的磁州窑、耀州窑和南方的龙泉窑、吉州窑、建窑等，各类名窑色釉尤如雨后春笋般地并立于陶林之中，在我国陶瓷发展中出现了一个色釉大发展的鼎盛局面，对我国高温颜色釉生产起了推动作用。元、明、清时期，我国江西景德镇已逐渐形成为制瓷中心。它继承了宋代的瓷器制作基础，创造了许多名贵的高温颜色釉瓷，如明代永乐、宣德时期的霁红、宝石红、霁蓝，康熙时期的郎窑红、豇豆红，雍正、乾隆时期的钧红、窑变、仿哥、仿官、仿汝的青釉瓷。这些历史上的名瓷色釉品种迄今仍在我国陶瓷领域中闪耀着灿烂的光辉。

我国传统高温色釉瓷从釉色来分基本上可分为青釉瓷、红釉瓷和黑釉瓷三大类。通常，无色的白釉瓷大都以人民日常生活中需要的餐、茶具和部分美术细瓷为主流。三类高温色釉瓷则多制作美术瓷和陈列瓷，仅少量作为日用细瓷。从化学上分析，这三类颜色釉的着色元素与低温铅釉陶相同，即靠过渡元素 Fe、Cu、Co、Mn 等呈色，所不同的是上述元素在 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 或 $K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 系玻璃质基釉中呈色。此外，烧成工艺条件方面，多为还原焰烧成，与低温色釉在含铅硅酸盐基釉中氧化焰烧成后金属离子呈高价态着色显然不同。但钴离子在低温釉和高温釉中的着色无多大差别，因钴离子在两种条件下的价态基本不变。

过渡金属在玻璃中的呈色问题比较复杂，近年来多以配位场理论解释玻璃或釉的着色机理。在釉或玻璃网络中，过渡金属的着色正离子都处在氧的负离子包围中，形成各种不同的配位体，在最近邻的负离子氧的静电场作用下，导致金属离子的能级分裂而产生电子跃迁，引起对可见光谱的选择性吸收，从而使玻璃产生不同的颜色。由此可见，颜色的形成，主要决定于呈色离子在玻璃中的价态、配位体的电场强度和对称性。然而，釉的着色机理更加复杂，除釉的本身影响外，烧成过程的温度、气氛、压力、时间等条件的变化也是不可忽视的影响因素。由于过渡金属离子的最外层电子多未配对或未充满，处于不饱和状态，电子层的结构很不稳定，电子易在 $3d$ 或 $4f$ 轨道上发生跃迁，从而产生颜色。反之，当最外层（或次外层）轨道上的电子都已配对或半充满时，玻璃皆是无色或仅有微弱颜色。因此，这些典型的过渡金属离子在玻璃中的呈色与电子组态 (d^n) 有关，而电子组态 (d^n) 由离子的 d 壳层中电子的数目决定[1]。表 8-1 为玻璃中过渡金属离子的呈色情况。

我国传统的高温颜色釉品种较多，色彩也极为丰富，为了便于说明色釉情况，现将历史上著名的铜红、铁黑、钴蓝等颜色釉瓷器分述于下。

表 8-1 玻璃中过渡金属离子的呈色

组态	离子	颜色	组态	离子	颜色
d^0	Ti^{4+}	无色	d^4	Mn^{3+}	[illegible]
	V^{5+}	淡黄至无色	d^5	Mn^{2+}	[illegible]
	Cr^{6+}	淡黄至无色		Fe^{3+}	淡[illegible]
d^1	Ti^{3+}	紫-紫红	d^6	Fe^{2+}	蓝-绿
	V^{4+}	蓝色		Co^{3+}	淡[illegible]
	Mn^{6+}	无色	d^7	Co^{2+}	蓝-品红
d^2	V^{3+}	黄-绿	d^8	Ni^{2+}	褐-紫红
d^3	Cr^{3+}	绿	d^9	Cu^{2+}	蓝-绿
d^4	Cr^{2+}	淡蓝	d^{10}	Cu^{+}	无色

一、铜红釉瓷

铜作为瓷釉的着色剂在我国已有悠久的历史，早在唐代，长沙窑已出现以铜着色的高温红、绿色釉；北宋时期，河南钧窑开始了钧红釉的制作；明代开始，景德镇才使用铜作为着色剂制作高温色釉。由于铜在高温下的挥发作用，工艺上较难控制，烧制色泽质量好的制品十分不易，所以铜着色的高温红釉历来都是非常名贵的。

铜在玻璃中通常以 Cu^{2+} 离子(d^9)、Cu^+ 离子(d^{10})和金属 Cu^0 三种状态存在。两价 Cu^{2+} 离子(d^9)常以简单八面体配位和四面体配位存在于玻璃中，d^9 组态的铜离子、即在 $3d$ 轨道上的电子尚未充满，发生 d-d 跃迁，对红外光谱有强的吸收，在蓝-绿波长范围(400～550 nm)处有强烈的透过，因此产生蓝-绿色，如图 8-1 所示。我国东汉的绿釉陶、唐三彩、宋三彩上的绿釉等都是二价铜离子在铅釉中呈色的结果。在玻璃中，Cu^+ 离子的 $3d$ 轨道上的电子全充满，不发生 d-d 跃迁，因此玻璃或釉是无色的。金属铜(Cu^0)常以胶体粒子悬浮在玻璃中，使其呈红色。传统的铜红釉的呈色即以该原理为基础。

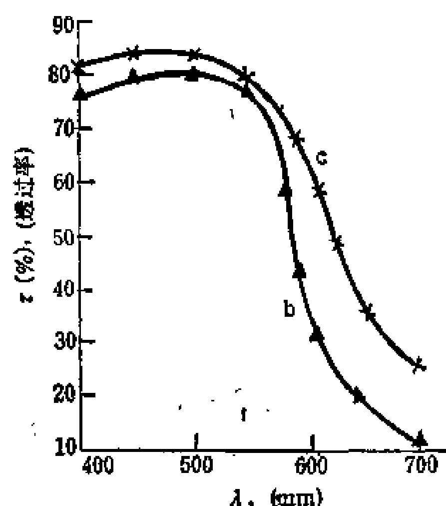


图 8-1 Cu^{2+} 在玻璃中的透过曲线
(a) 铜玻璃的典型透光曲线；(b) 以 Mg^{2+} 取代 Ca^{2+} 时 Cu^{2+} 玻璃的透过曲线

我国铜红釉始于唐，湖南长沙窑曾出土铜红的瓷器。至宋代已大量烧制钧窑瓷，考古工作者曾在河南禹县、临汝、郏县等地不断发现铜红釉的残片。金元时期，河南的安阳、鹤壁、焦作以及河北邯郸的贾壁窑、山西的浑源窑均烧制铜着色的红斑蓝釉产品。明、清时期，我国景德镇在继承前人的基础上，又创造性地烧制成永乐、宣德的霁红(祭红)、宝石红，康熙时的郎窑红、豇豆红，雍正、乾隆的钧红、窑变等名贵铜红釉品种。上述诸类名贵铜红釉虽然都是以铜为着色元素，但其色调和风格却因基釉成分、烧成温度和气氛以及施釉方法的不同而异。

1. 钧窑红釉瓷

钧窑是我国北宋时期五大名瓷之一，它以祭禹王的钧台得名，古代的产地是河南禹县与

该县神后镇。钧瓷色釉的颜色变化范围很广，它以铜为着色剂形成五光十色的釉色，如玫瑰紫、胭脂红、海棠红、茄皮紫、天青、天蓝、月白以及著名的"窑变"等，在我国陶瓷史上独树一帜、别具一格。金、元时期，钧釉不仅影响河南北部的安阳、鹤壁、焦作和河北邯郸的观台窑，还影响到山西北部的浑源窑；明、清时期，南方景德镇受其影响更大，其釉色之丰富，乳光色调的幽雅以及端庄古朴的造型，在我国陶瓷领域中开辟了一个新的境界。

我国的铜红釉很早已为世界上法、英、德等国家的许多学者所重视，由他们进行了研究和仿制。如 J. N. Collie, H. Jackson, J. J. Ebelmen, J. W. Mellor, J. H. Norton 等等都曾进行过铜红釉的研究。他们从铜在釉内的化学反应和烧制时的工艺条件来解释铜的呈色现象。近年来，国内外学者多以配位场理论和电子自旋共振(ESR)理论[2]来确定过渡金属离子在玻璃中的电价、配位和化学键的强度等来说明呈色的基本原因。五十年代，河南省轻工业厅曾对禹县神后钧瓷进行了大量恢复和试制工作，近年来又进行了大量研究和科学总结。七十年代中期，山东淄博硅酸盐研究所对宋、元时期的钧釉瓷作了较系统的研究[3]，首先提出："钧窑系釉都是液-液分相釉，其蓝色乳光是釉层中粒径约为 100 μm 的分相液滴对可见光谱中短波光的散射作用所引起的视觉效应；窑变现象是釉分相结构在宏观上的不均匀性产生的视觉效果"。此外，该所研究人员从釉的化学组成的研究结果提出了 P_2O_5/Al_2O_3 和 SiO_2/Al_2O_3 比对产生釉的分相、窑变和乳光效果的作用及对 CuO 在釉中产生的呈色作用。八十年代初，中国科学院上海硅酸盐研究所利用宋、元时期 11 种钧瓷残片，产用光学显微术(OP)、能量散射谱(EDX)、透射电镜(DTEM)等现代测试手段，进一步研究了液相分离的结构，发现胎釉中间层处生成了钙长石结晶层，提出了乳光散射机理，证明液相小滴中含有 Cu_2O 完整立方晶体，通过小滴中 Cu^+ 离子对光的选择吸收而产生颜色。此外，发现釉中有辉铜矿(Cu_2S)多晶小球，通过其含量多寡与红色液滴配合用以控制釉色的红的程度[4]。上述研究对深入探讨铜红钧釉的呈色机理及改进工艺质量都极有参考价值。

表 8-2 和表 8-3 分别列出了钧窑瓷胎和釉的化学组成。

宋钧窑瓷胎的组成属于 K_2O-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2 系统，因含铁量较宋代其他名瓷高(约 2.23～3.30%)，故胎多呈深灰色。Fe_2O_3 在胎内与胎中一定量的 $R_2O(K_2O+Na_2O)$ 起熔剂作用，故宋钧窑瓷胎中总的熔剂含量较宋代其他名瓷高，烧成温度一般约 1250°C；由于窑内温差较大，个别窑烧成温度高达 1300°C。由此可见，宋钧窑瓷胎的吸水率的波动范围较大，制品之间胎的致密度有较大差别。钧窑瓷器均为二次烧成，釉层较厚，其胎中的 $RO \cdot R_2O$ 与 RO_2 的关系如图 8-2 所示。从胎的成分分布情况可知，宋钧窑瓷胎中的碱金属和碱土金属熔剂氧化物含量较低，其 R_2O_3 的比量却很高。

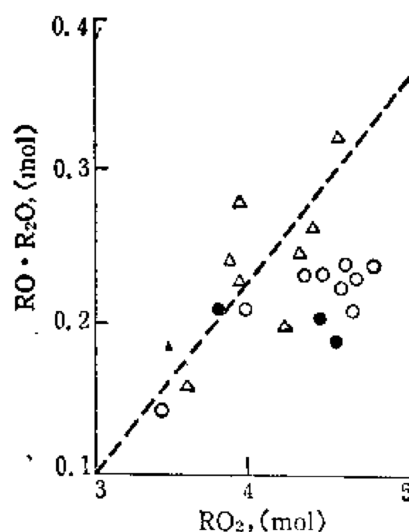


图 8-2 宋、元钧窑胎的 $RO \cdot R_2O$ 与 RO_2 关系图

○ 宋钧窑胎[9]；● 元钧窑胎[8]；
△ 宋钧窑胎[4]；▲ 元钧窑胎[4]

宋钧窑瓷釉的化学组成属于 K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2 系统。根据 W. D. Kingery 与 P. B. Vandiver 的研究[5]，按钧瓷釉所处的四元相图的位置，釉中的方石英(SiO_2)、硅灰石($CaSiO_3$)、钙长石($CaAl_2SiO_8$)、正长石($K_2Al_2Si_6O_{16}$)位于临近亚稳的两液相分相区，如

表 8-2 钧红瓷胎的化学组成

编号	名称	化学组成 (m%)										其他	总量
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	CuO		
S2-2	宋钧砂胎窑变釉	70.22	21.96	3.23	1.42	0.97	0.12	1.43	0.28	0.02		吸水率(%) 2.50	99.73
	化学式	$0.169RO+R_2O\cdot R_2O_3\cdot 3.82RO_2$											
Y1-3	官钧黄胎(胭脂红釉)	65.19	25.00	3.19	1.16	0.74	0.70	2.55	0.33				98.86
	化学式	0.050 0.066 0.020 0.102	CaO MgO Na_2O K_2O	0.925 0.075	Al_2O_3 Fe_2O_3	4.081 0.055	SiO_2 TiO_2						
Y1-4	官胎茄皮紫釉	63.99	27.50	3.00	1.10	0.73	0.60	2.13	0.58				99.63
	化学式	0.045 0.052 0.033 0.079	CaO MgO Na_2O K_2O	0.935 0.065	Al_2O_3 Fe_2O_3	3.710 0.048	SiO_2 TiO_2						
Y1-5	宋官钧胎(玫瑰紫)	67.14	25.30	2.87	1.37	0.63	0.53	2.00	0.35				100.19
	化学式	0.042 0.051 0.021 0.079	CaO MgO Na_2O K_2O	0.924 0.068	Al_2O_3 Fe_2O_3	4.210 0.064	SiO_2 TiO_2						
Y1-1	宋官钧胎(天青釉)	66.39	27.20	2.23	1.27	0.59	0.49	2.01	0.45			2.17	100.63
	化学式	0.039 0.045 0.027 0.079	CaO MgO Na_2O K_2O	0.949 0.051	Al_2O_3 Fe_2O_3	4.070 0.058	SiO_2 TiO_2						
Y1-2	宋官钧胎(天蓝釉)	63.84	27.30	3.17	1.14	0.84	0.70	2.85	0.34			100.18	0.23
	化学式	0.054 0.062 0.019 0.100	CaO MgO Na_2O K_2O	0.932 0.068	Al_2O_3 Fe_2O_3	3.682 0.048	SiO_2 TiO_2						
Y1-4′	宋官钧胎(内釉为月白)	63.99	27.50	3.00	1.10	0.73	0.60	2.13	0.58			99.63	
	化学式	0.045 0.052 0.033 0.079	CaO MgO Na_2O K_2O	0.935 0.065	Al_2O_3 Fe_2O_3	3.710 0.048	SiO_2 TiO_2						

表 8-3　钧红类釉的化学组成　　　续表

编号	名称	化学组成 (m%)											
		SiO_2	Al_2O	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	SnO_2	CuO	总量
S2-2	宋代窑变釉	70.63	9.94	1.90	微量	1.14	1.56	3.12	0.92	1.33	MnO 0.07	0.05	100.68
	化学式												
Y1-3	宋官钧胭脂红釉	71.04	9.60	1.09	0.31	10.63	0.75	4.60	0.65	0.46	0.32	0.30	100.55
	化学式	0.711 0.071 0.039 0.179	CaO MgO Na_2O K_2O	0.352 0.047	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.01[illegible] 4.[illegible]3 0.01[illegible]	P_2O_5 SiO_2 TiO_2	0.00[illegible] 0.0[illegible]	SiO_2 CuO				
Y1-4	宋官钧茄皮紫釉	70.45	9.65	2.53	0.42	9.60	0.83	4.86	0.72	0.58	0.40	0.45	100.52
	化学式	0.670 0.081 0.046 0.203	CaO MgO Na_2O K_2O	0.370 0.062	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.016 4.60 0.020	P_2O_5 SiO_2 TiO_2	0.010 0.022	SnO CuO				
Y1-5	宋官钧玫瑰紫釉	70.45	9.50	2.16	0.37	9.52	0.95	4.28	0.52	0.68	0.91	0.40	99.74
	化学式	0.687 0.095 0.034 0.184	CaO MgO Na_2O K_2O	0.376 0.055	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.019 4.74 0.019	P_2O_5 SiO_2 TiO_2	0.024 0.020	SnO CuO				
Y1-1	宋官钧天青釉	68.89	10.80	2.30	0.31	10.66	0.85	3.86	1.12	0.81	未定	微量	99.60
	化学式	0.706 0.078 0.066 0.150	CaO MgO Na_2O K_2O	0.389 0.050	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.021 4.28 0.016	P_2O_5 SiO_2 TiO_2						
Y1-2	宋官钧天蓝釉	71.86	9.71	1.95	0.36	9.36	0.91	4.48	0.57	0.68	0.20	微量	100.08
	化学式	0.678 0.093 0.037 0.192	CaO MgO Na_2O K_2O	0.385 0.049	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.019 4.85 0.018	P_2O_5 SiO_2 TiO_2	0.005 微量	SnO CuO				
Y1-4′	宋官钧月白釉（内釉）	71.07	9.75	2.35	0.42	9.46	0.83	4.74	0.65	0.55	0.15	0.11	100.13
	化学式	0.674 0.083 0.042 0.201	CaO MgO Na_2O K_2O	0.382 0.059	Al_2O_3 Fe_2O_3	0.015 4.70 0.021	P_2O_5 SiO_2 TiO_2	0.004 0.005	SnO CuO				

* S2-2选自周仁、李家治“中国历代名窑陶瓷工艺的初步科学总结”；

** Y1-1～Y1-5选自刘凯民，山东陶瓷[1] p47～48，1981.

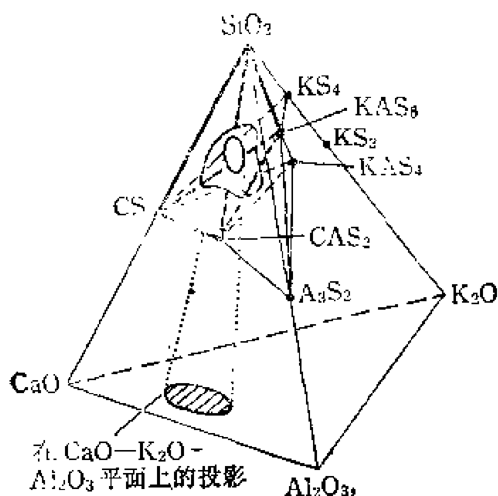


图 8-3 K_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2 的四元相平衡图（图内示出了在 SiO_2-CS-CAS_2-KAS_6 范围内宋代瓷釉的组成和它在 K_2O-Al_2O_3-CaO 平面上的投影）

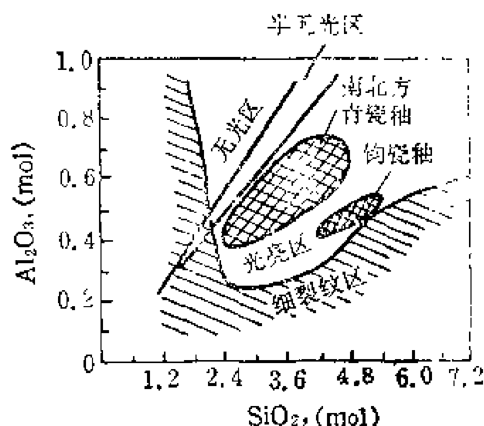


图 8-4 在 1285°C 下（8 号三角锥）烧成时，在固定 RO（$0.3K_2O$-$0.7CaO$）时，南、北宋青釉和钧瓷釉成分区域分布与 SiO_2 和 Al_2O_3 的变化关系

图 8-3 所示。图 8-4 为宋代青瓷和钧瓷釉在 RO 固定时随 SiO_2 与 Al_2O_3 分布位置的变化情况，其烧成条件为 1285°C（8 号三角锥）。

图 8-3 表明，钧釉在 SiO_2-CS-CAS_2-KAS_6 区占有一定容积范围。实际上，在这些瓷釉中，晶体相的变化尚取决于烧成过程中的温度、时间、压力和气氛等工艺条件的变化，特别是烧制过程中温度和气氛对釉的呈色和晶相的析出和溶解更为重要。图 8-4 表明，钧窑釉位于产生细微裂纹区，甚至在烧成过程中也很容易产生细微裂纹，但这种缺点与釉色呈现乳光及与釉面的光泽相比还是次要的。

从钧釉的化学组成看，釉的呈色无疑是过渡元素中的铜（Cu）和铁（Fe）起主要作用。在还原气氛下，氧化亚铁（FeO）在釉中占较大的比例，在可见光谱中，由于对紫外和红外光部分有较大的吸收，故呈青蓝色。但在还原条件下，铜在釉中以 Cu^+ 和 Cu^0 两种状态存在。究竟在钧釉中那种状态占主要地位，过去文献认为，金属铜（Cu^0）粒子呈胶体悬浮在釉中而呈红色；但也有人认为，Cu_2O 是主要呈色离子。然而，由于一价铜（Cu^+）离子中 3d 轨道的电子已全部充满（即组态为 d^{10}），它在玻璃（釉）中应呈无色或呈浅色。根据近年来对钧窑釉中的液相分离、乳光的散射以及铜离子的着色问题所进行的探讨[6]，认为在高硅质釉中的 P_2O_5 对液相分离起主要作用，乳光是由存在在钧釉中的液相小滴散射的结果，红色钧釉是由 Cu^+ 使小滴对光具有选择性吸收，在散射时呈色。在透光显微镜下，还发现有灰蓝色 Cu_2O 多晶小珠（0.4～2 μm）与红色液相小滴一起成群地呈流纹状分布，且以液滴大小和含量多寡控制钧窑釉的颜色从蓝紫、紫、紫红、玫瑰红到红色。由此可见关于钧红釉的呈色的说法不一，这还是一个需进一步探讨的问题，特别是 Cu_2S 晶体存在对呈色的影响更需进一步研究。

钧窑釉的色彩十分丰富，从它的化学组成也可看出，凡红、紫相间的釉，如胭脂红、玫瑰紫、茄皮紫以及海棠红等色釉均含有一定量的铜（Cu）作为红色的着色剂，CuO 含量约为 0.3～0.45%，还含有 0.3～0.9% 的 SnO 作还原剂。然而，天青、天蓝和月白等钧釉内含铜量极微，故多呈青、蓝色，都以 Fe^{2+} 离子为着色剂。从颜色的加和关系考虑，紫色是由红和蓝按不同比例加和而成，钧釉中能形成各种色调的紫色很可能是由 Cu 和 Fe 在还原条件下所

呈的红、蓝两色加和的结果。钧釉通常在1250～1270℃采用还原焰烧成，钧釉瓷自1956年开始已在禹县神后镇恢复生产。

2．景德镇铜红红瓷

景德镇在继承我国唐、宋以来的优良传统的基础上不断创新和发展，特别在明、清时期，颜色釉的发展更为突出，其中以铜红釉最明显，如明初永乐、宣德的霁红（亦称祭红）、宝石红，清初康熙时的郎窑红、豇豆红（亦称桃花片），雍正、乾隆时的仿宣霁红、仿钧红、仿钧红窑变等，其品种之多，质量之高，在我国陶瓷史上是一空前极盛时期。

景德镇在宋代曾以铜为着色剂烧制带有红斑的影青釉瓷。元代烧制成功了以铜为着色剂的釉下彩釉里红。明代永乐时期已成功制出了通体鲜红的红釉瓷，又称宝石红，亦称祭红或霁红。宣德年间，在质量上和数量上有明显的改进和发展，在制作技术上更精益求精，红色更加鲜艳，产品多制成高足杯、盘、碗等古人祭典用品，故有祭红之称。宣德以后至明代末期，红釉制品极少见了。至清初康熙、雍正、乾隆时期，由于统治者的极大重视，曾不断派专人前往景德镇监督制造，又在明代铜红釉的基础上仿制了霁红、钧红、窑变釉瓷，而且还创制出了郎窑红（由于釉色鲜红，国外多称"鸡血红"）和豇豆红釉（亦称桃花片）。

近年来的研究结果表明[6]，明代永乐和宣德铜红釉瓷胎的化学组成基本相同，而清代郎窑红和光绪祭红瓷胎的铝含量比明代各期都高，这与景德镇明、清时期其他瓷器品种的瓷胎组成变化规律是一致的。清代的瓷胎中增加了高岭土的用量，改善了制坯成形时的操作性能，提高了瓷器的烧成温度。表8-4列出了明、清时期景德镇铜红釉瓷胎的化学组成。

表8-4　景德镇铜红釉瓷胎的化学组成

样品名称	成分 化学组成 (m%)						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
永乐祭红	75.13	20.41	0.82	0.13	0.18	2.60	0.68
宣德祭红	74.45	20.29	0.97	0.07	0.22	3.08	0.81
宣德祭红剔花	75.13	20.28	0.76	0.03	0.17	3.11	0.71
雍正祭红	73.09	20.17	0.96	0.12	0.13	2.91	2.64
清代郎窑红	66.97	24.70	0.91	0.53	0.11	2.54	1.96
光绪祭红	70.92	22.64	0.81	0.13	0.11	3.49	1.68

明代祭红釉的含CaO量约为6～8%，含K_2O量较高，约5%；清代祭红和郎窑红釉的含CaO量比明代约高2倍，其含量为10～14%，K_2O(Na_2O)的含量较低。着色剂CuO的含量为0.3～0.6%。光绪祭红比较特殊，它与明、清时期的各种祭红不同，均是含铅量很高的低温釉，这是以往人们所不能预料的。明、清时期几种典型铜红釉的化学组成如表8-5所列。

光绪祭红釉中含铜量较少，但是其产品的颜色并不浅。光绪祭红的红色中有微微泛紫的闪色，而其他时期的祭红样品则红中有微微泛黄的韵味，这主要是由于釉中含有少量金的显色造成差别所致。

明代宣德、永乐祭红釉和清代郎窑红釉的分光反射率曲线示于图8-5。从图中可见，铜红釉的主波长均约在600 nm，而清代红釉的主波长则更长一些。

景德镇各种铜红釉的呈色机理与钧窑红釉的呈色机理相同，均可用亚铜离子Cu^+和

表 8-5　景德镇明、清铜红釉瓷釉的化学组成

样品名称	成				分					
	化学组成 (m%)									
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	CuO	PbO	总计
永乐祭红	70.07	13.56	7.83	0.34	4.61	2.04	0.82	0.28 0.35*		99.55
宣德祭红	70.56	13.20	6.57	0.41	5.38	2.32	0.71	0.35 0.42*		99.50
宣德祭红剔花 红色	71.83	13.45	6.31	0.26	4.28	2.64	0.72	0.26		99.75
宣德祭红剔花 白色*	72.02	17.06	1.93	0.30	3.95	3.09	1.49	—		99.84
雍正祭红	62.54	15.45	13.85	0.29	2.35	3.01	1.09	0.58		99.16
清代郎窑红	68.29	14.18	10.06	0.50	2.52	2.80	0.98	0.24 0.67*		99.57
光绪祭红	45.36	3.35	1.16	0.08	3.06	1.17	0.37	0.04 0.16*		
乾隆祭红*	64.88	16.00	10.17	0.69	4.13	1.59	2.20	0.30*	45*	99.96

* 为电子探针分析数据；** 另含有 Au0.06%。

Cu^0 的胶体粒子在釉中混合着色来解释，因铜在釉的烧成过程中由于成分和外界条件，诸如气氛、温度、压力的影响十分复杂。此外，在烧成过程中釉层所受到的还原程度经常随升温过程而变化，且铜在不同厚度的釉层中的溶解、析出、扩散和挥发以及浓度也在不断变化，故在釉中 Cu^+ 和 Cu^0 的比例也往往变化，从而造成了铜红釉着色的多样性和多品种。

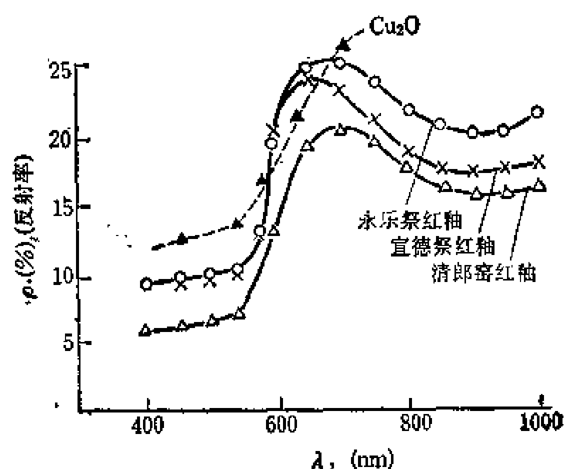
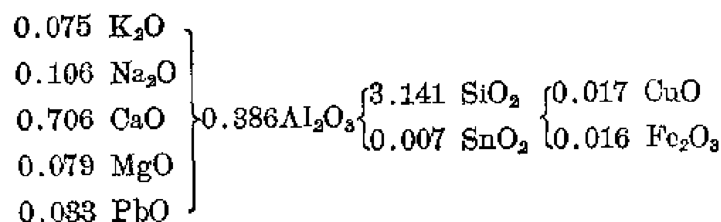


图 8-5　景德镇永乐、宣德祭红和清代郎窑红釉的分光反射率

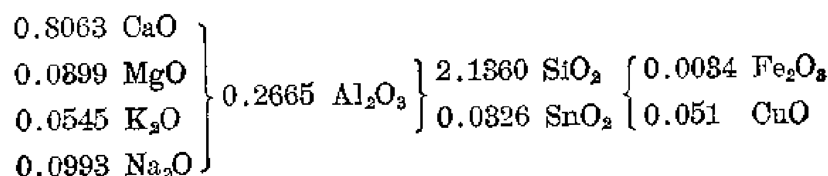
近年来，景德镇进行了铜红釉瓷的试制和生产，某些产品的质量已接近历史水平，也有一些工艺上的创新，对利用煤窑如何烧制铜红釉也曾进行过不少试验，并获得了一些结果，下面是景德镇铜红釉的典型化学式：

(1) 祭红釉



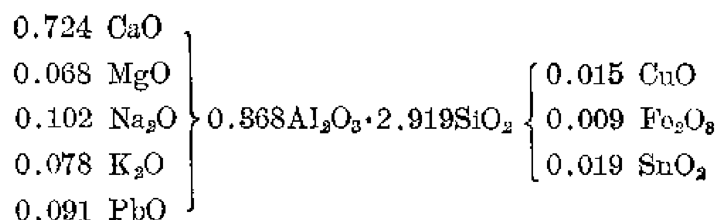
$$\left.\begin{matrix}0.075\ K_2O\\0.106\ Na_2O\\0.706\ CaO\\0.079\ MgO\\0.033\ PbO\end{matrix}\right\}0.386Al_2O_3\left\{\begin{matrix}3.141\ SiO_2\\0.007\ SnO_2\end{matrix}\right.\left\{\begin{matrix}0.017\ CuO\\0.016\ Fe_2O_3\end{matrix}\right.$$

(2) 郎窑红釉



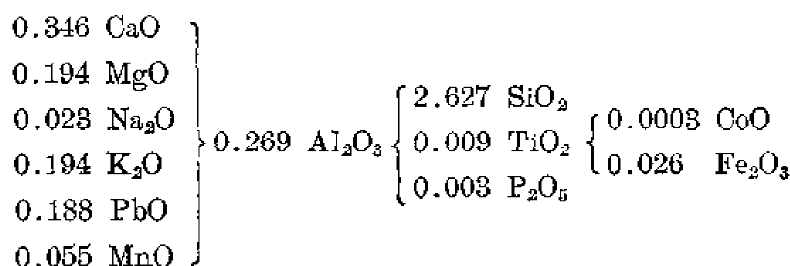
$$\left.\begin{matrix}0.8063\ CaO\\0.0899\ MgO\\0.0545\ K_2O\\0.0993\ Na_2O\end{matrix}\right\}0.2665\ Al_2O_3\left\}\begin{matrix}2.1360\ SiO_2\\0.0326\ SnO_2\end{matrix}\right.\left\{\begin{matrix}0.0034\ Fe_2O_3\\0.051\ \ CuO\end{matrix}\right.$$

(3) 钧红釉



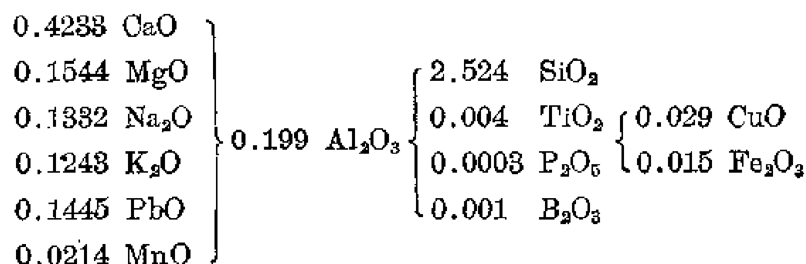
$$\left.\begin{array}{l}0.724\ CaO\\0.068\ MgO\\0.102\ Na_2O\\0.078\ K_2O\\0.091\ PbO\end{array}\right\}0.368Al_2O_3\cdot 2.919SiO_2\left\{\begin{array}{l}0.015\ CuO\\0.009\ Fe_2O_3\\0.019\ SnO_2\end{array}\right.$$

(4) 窑变花釉-1



$$\left.\begin{array}{l}0.346\ CaO\\0.194\ MgO\\0.023\ Na_2O\\0.194\ K_2O\\0.188\ PbO\\0.055\ MnO\end{array}\right\}0.269\ Al_2O_3\left\{\begin{array}{l}2.627\ SiO_2\\0.009\ TiO_2\\0.003\ P_2O_5\end{array}\right.\left\{\begin{array}{l}0.0003\ CoO\\0.026\ Fe_2O_3\end{array}\right.$$

(5) 窑变花釉-2



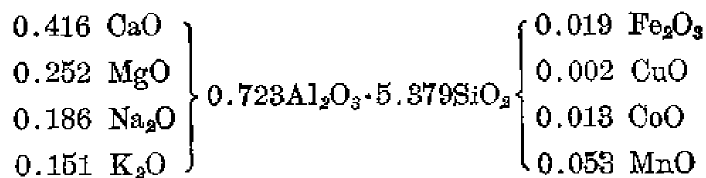
$$\left.\begin{array}{l}0.4233\ CaO\\0.1544\ MgO\\0.1332\ Na_2O\\0.1243\ K_2O\\0.1445\ PbO\\0.0214\ MnO\end{array}\right\}0.199\ Al_2O_3\left\{\begin{array}{l}2.524\ SiO_2\\0.004\ TiO_2\\0.0003\ P_2O_5\\0.001\ B_2O_3\end{array}\right.\left\{\begin{array}{l}0.029\ CuO\\0.015\ Fe_2O_3\end{array}\right.$$

二、景德镇蓝釉及其他高温色釉

除以铜着色的各种红釉和花釉外，景德镇在明、清时期还发展了许多其他品种的高温色釉，如天青釉、祭蓝油、茶叶末釉、铁锈花釉、鳝鱼黄釉、乌金釉以及以铁为着色剂的仿汝、仿官、仿哥和仿龙泉釉等。以铁为着色剂的各种青釉已有叙述，本节略述蓝釉和其他几种铁含量高的黑釉和结晶釉。

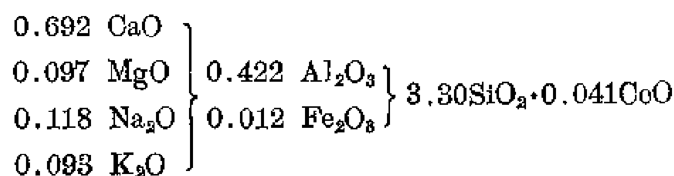
(1) 天青和祭蓝釉　景德镇制作的天青釉和祭蓝釉均以钴的氧化物为着色剂，其含量约在万分之几至千分之几之间，其组成如下：

天青釉



$$\left.\begin{array}{l}0.416\ CaO\\0.252\ MgO\\0.186\ Na_2O\\0.151\ K_2O\end{array}\right\}0.723Al_2O_3\cdot 5.379SiO_2\left\{\begin{array}{l}0.019\ Fe_2O_3\\0.002\ CuO\\0.013\ CoO\\0.053\ MnO\end{array}\right.$$

祭蓝釉

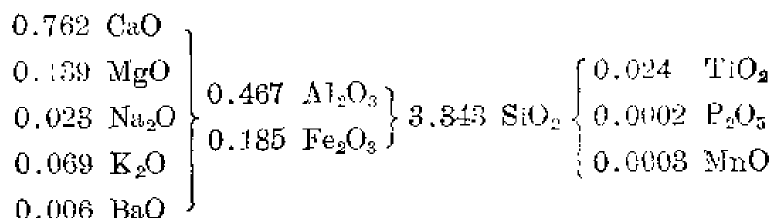


$$\left.\begin{array}{l}0.692\ CaO\\0.097\ MgO\\0.118\ Na_2O\\0.093\ K_2O\end{array}\right\}\left.\begin{array}{l}0.422\ Al_2O_3\\0.012\ Fe_2O_3\end{array}\right\}3.30SiO_2\cdot 0.041CoO$$

着色原料常以氧化钴引入釉中，并添加适量的钴土矿，主要以钴、锰、铁等氧化物着色，

其蓝色显得幽雅深沉。天青釉中含钴量低，祭蓝釉中则较高。

(2) 茶叶末、鳝鱼黄及乌金釉　茶叶末釉和鳝鱼黄釉都是以铁作为着色剂的结晶釉，其结晶细小，均匀分散在釉内和表面。由于基釉色调的不同，呈偏褐色者称茶叶末，偏黄色者称鳝鱼黄。釉中熔剂的主要成分为 CaO 和 MgO，特别是 MgO 的作用十分关键，茶叶末的组成化学式为：

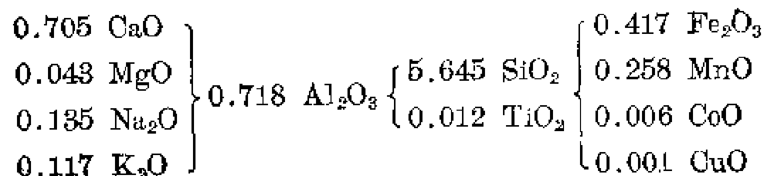


$$\left.\begin{array}{l}0.762\ CaO\\0.139\ MgO\\0.023\ Na_2O\\0.069\ K_2O\\0.006\ BaO\end{array}\right\}\left.\begin{array}{l}0.467\ Al_2O_3\\0.185\ Fe_2O_3\end{array}\right\}3.343\ SiO_2\left\{\begin{array}{l}0.024\ TiO_2\\0.0002\ P_2O_5\\0.0003\ MnO\end{array}\right.$$

釉中 TiO_2 的含量较其他釉高，对釉的乳浊也起一定的作用。

另一种铁结晶的传统釉是铁锈花釉，釉面的颜色呈铁锈色，釉中有大量氧化铁析晶出来的细小晶体，象一朵朵闪有金属铁光泽的雪花状鳞片浮在釉面。铁锈花釉中主要含有适量的氧化铁，在冷却过程中一旦条件适当，易形成结晶析出。

乌金釉是一种以铁、锰为主要着色剂的颜色釉，釉中尚含有一定量的 CoO 和 CuO，含铁量比一般青瓷釉高 5~6 倍，可说是釉中含铁量最高的一种。乌金釉是表面光亮的纯黑色颜色釉，工艺上的难度主要在于配方的控制，其典型配方的组成化学式如下：



$$\left.\begin{array}{l}0.705\ CaO\\0.043\ MgO\\0.135\ Na_2O\\0.117\ K_2O\end{array}\right\}0.718\ Al_2O_3\left\{\begin{array}{l}5.645\ SiO_2\\0.012\ TiO_2\end{array}\right.\left\{\begin{array}{l}0.417\ Fe_2O_3\\0.258\ MnO\\0.006\ CoO\\0.001\ CuO\end{array}\right.$$

其他高温颜色釉大部分是以 Fe^{2+} 离子着色的各种青釉，如仿龙泉釉、仿官釉、仿汝釉、影青、梅子青、豆青等，其差别主要是基釉成分、着色剂含量和烧成条件的控制。至今还有一些品种没有仿制成质量较好的产品，如仿汝官釉。

根据上述各颜色釉的化学组成式，按照 R. T. Stull 研究的瓷釉成分分布图，以 $RO \cdot R_2O$ 固定时 Al_2O_3 与 SiO_2 变化的釉的组成分布的位置如图 8-6 所示。从图中可以明显地看出：

(1) 铜红釉的化学组成中，熔剂含量较铁青釉高，其釉烧温度较铁青釉低（1260~1280°C），其中窑变花釉更低，已接近开裂区，其流动性和膨胀系数比红釉和青釉均大。如配方控制不当，瓷釉易产生开裂现象。

(2) 天青釉与霁蓝釉虽都以钴为着色剂，但钴的含量和基础配方区别较大，天青釉的熔融温度要比霁蓝釉高得多。

(3) 在这些颜色釉中，除个别的几种釉距离光亮轴稍远外，大多数釉均靠近光亮轴，表明景德镇生产的颜色釉，基本上光泽度都比较强。

景德镇颜色釉的烧成过程是决定釉色质量的重要条件，它一直是沿用传统的景德镇烧柴的蛋形窑烧制的，从该类窑测定的热工特性如图 8-7 和图 8-8 所示[7]。

从图 8-7 中可知，其窑内温度一般为 1280~1300°C，最高为 1320°C。窑内前部和中前部的 CO 含量在还原阶段（780~1180°C）时为 4.4~9.6%，CO_2 为 13.6~16.8%，O_2 为 0.2~0.4%，表明为重还原焰。从图 7-8 可知，窑的中顶前部维持近零压，窑底则维持较小的负压，表明窑内上下气流分层现象并不严重，因此，在窑的中前上部对烧制铜红釉是较有

利的。

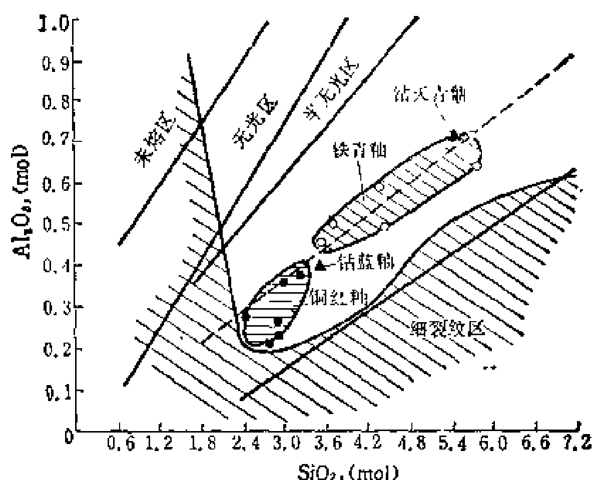


图 8-6 铜红、铁青和钴蓝瓷釉组成在 1280～1300°C 时的分布位置图

三、黑釉瓷

我国黑釉瓷的生产历史悠久，根据文献记载，始于汉，东汉、隋唐相继烧造，入宋以后烧造量更大，窑址遍及南北。青釉、黑釉均以铁为着色剂，故早期多青、黑兼烧，唐、宋时期北方诸窑多以黑、白或青、黑、白釉瓷共烧。产品早期多黑釉素面碗、盏，到宋代还生产盆、罐、炉、瓶等产品。黑釉瓷器的装饰中，单黑色就变化无穷，丰富多彩，如福建建阳窑的兔毫盏、江西吉州窑的玳瑁、剪纸漏花、木叶黑釉贴花及印花，还有河北定窑、河南鹤壁窑、山西临汾窑的油滴等都是名贵的艺术珍品，具有浑厚朴实的民族风格。

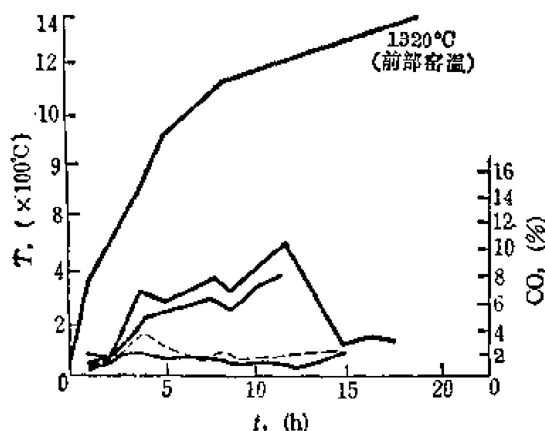


图 8-7 景德镇窑内温度与气氛变化图

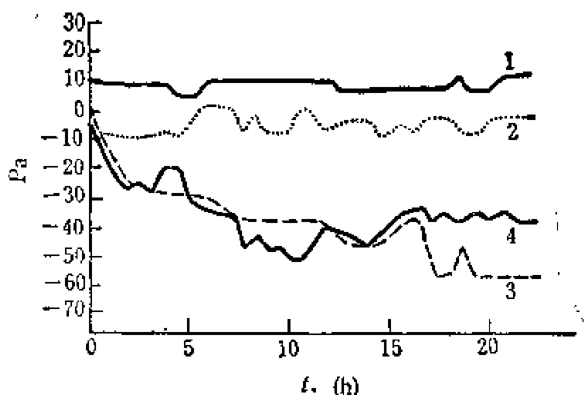


图 8-8 景德镇窑内压力变化图

有关兔毫、油滴、玳瑁等黑釉的呈色机理，近年我国许多科学工作者进行了大量的探讨和研究。1978 年，对东汉至元代 21 种黑釉品标本进行了系统测试[8]，并对黑釉瓷系统中的油滴、兔毫釉的油滴状和兔毫状斑纹的烧制条件及其形成机理进行了探讨，为以后开展黑釉瓷的研究提供了良好的条件。历代南北黑釉瓷的胎釉化学组成列于表 8-6 和表 8-7，其化学式列于表 8-8；其胎釉组成分布分别如图 8-9 和图 8-10 所示。

在黑釉瓷胎的化学式中，SiO_2 含量较高，为 73.41～76%，Al_2O_3 含量较低，为 15.71～17.92%，Fe_2O_3 为 2.35～2.86%，由此可见黑釉瓷的胎多为含杂质量高的粘土或瓷石所组成，其化学式为：



$$0.56 \sim 0.68R_xO_y \cdot Al_2O_3 \cdot 6.94 \sim 8.16SiO_2$$

南方地区的黑釉瓷胎除浙江德清窑的烧成温度稍低(1150±20°C)外，吸水率为 0.8%，其余烧成温度约 1300～1350°C，相比之下，北方黑釉瓷的烧成温度较南方高。

表 8-6 历代黑釉瓷片的化学组成、吸水率及烧成温度

标本号	年代	名称	出土地点	化学组成 (m%)												吸水率 (%)	烧成温度 (°C)
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Cr_2O_3	BaO	烧失量	总量		
1	东汉	印纹黑釉片	浙江上虞	76.00	15.71	2.35	0.83	0.36	0.53	3.14	0.92				99.83	2.8	1220±20
2	东汉	黑釉片	浙江上虞	75.51	15.76	2.62	1.11	0.37	0.66	3.23	1.05				100.31	6.4	1200±20
3	东汉	黑釉片	浙江上虞	75.81	16.25	2.61	0.81	0.38	0.69	3.17	1.02				100.76	1.0	1240±20
141	东晋	黑釉器	德清窑	73.41	17.92	2.86	0.92	0.48	0.65	2.58	1.03	0.01			99.85	0.8	1150±20
143	东晋	黑釉片	余杭窑	74.60	16.80	2.77	0.93	0.46	0.78	2.28	1.10	0.01			99.73	1.7	1130±20
150	北宋	黑釉器	浙江武义	74.30	18.10	3.77	0.77	0.08	0.50	2.30	0.11				100.02		1270±20
192	北宋	建窑兔毫盏	建阳水吉	62.86	23.06	9.24	1.22	0.08	0.45	2.53	0.45	0.03			99.91	0.9	1330±20
172	宋	黑釉片	吉州永和窑	66.77	23.00	1.44	1.07	0.10	0.32	5.07	0.46	0.02	0.27	1.31	99.77	7.0	1270±20
158	元	黑釉器	湖田窑	71.18	18.44	4.84	1.22	0.23	0.46	2.46	0.35	0.03			99.20	1.4	1250±20
57	唐	黑釉片	河南巩县	64.74	28.80	1.05	1.38	0.67	0.43	2.48	1.09				100.64	0.3	1290±20
77	唐	黑釉片	山西浑源	68.15	24.75	1.93	1.12	0.66	0.70	2.85	0.32				100.48	0.2	1320±20
68	宋	黑釉片	河南宝丰	65.07	25.89	3.52	1.04	1.18	0.64	2.02	0.34	0.03		0.25	99.98	1.1	1320±20
85	宋	酱釉片	河北曲阳	60.40	33.95	0.58	0.66	1.11	0.85	1.31	0.35	0.01			99.23	0.2	1350±20
86	宋	黑釉片	河北曲阳	61.53	33.21	0.56	0.58	1.10	0.78	1.11	0.84	0.18		0.60	100.49		>1300
87	宋	黑釉片	河北磁县	66.67	25.42	2.05	1.15	0.48	0.49	2.53	0.42	0.02			99.19	0.5	1310±20
90	宋	黑釉片	甘肃安口	65.95	26.88	1.66	1.30	0.56	0.54	1.60	0.36	0.02			98.87	2.0	1330±20
4	宋	油滴釉碗	山西临汾	58.33	31.43	3.63	2.05	0.59	0.64	1.93	0.71				99.30	9.6	1260±20
83	金	黑釉片	山西怀仁	59.81	28.74	3.94	0.93	1.73	0.88	2.40	0.34	0.01			98.78	1.7	不易判断
79	元	黑釉片	山西临汾	56.50	33.13	4.57	1.93	0.95	0.71	1.21	0.35	0.02			99.37	5.2	>1300
277	晋	黑釉片	抚顺大官屯	63.42	23.96	6.38	1.42	0.82	0.90	1.27	0.95	0.02			99.14		1230±20
130	宋	黑釉盏	广元瓷窑铺	71.31	18.17	5.60	1.55	0.37	0.52	1.55	0.26	0.02			99.25	7.8	1290±20

* 以上标本系浙江省文管会、故宫博物院及福建、山西、辽宁、四川、景德镇等省、市博物馆提供。

表 8-7　历代黑釉瓷釉的化学组成

标本号	年代	名称	化学组成 (m%)														Fe$_2$O$_3$(总)(%)	FeO 占 Fe$_2$O$_3$(总)(%)
			SiO$_2$	Al$_2$O$_3$	Fe$_2$O$_3$	TiO$_2$	CaO	MgO	K$_2$O	Na$_2$O	FeO	MnO	Cr$_2$O$_3$	CuO	CoO	总计		
2	东汉	黑釉片	56.45	14.15	2.15	1.22	16.58	2.20	3.67	0.91	2.49	0.26	0.02	0.01	0.02	100.00	4.92	56.30
3	东汉	黑釉片	56.13	13.81	1.87	0.97	16.40	2.02	3.79	1.09	3.08	0.30	0.02	0.01	0.03	99.52	5.29	64.65
141	东晋	黑釉器	52.10	11.25	4.62	0.93	22.99	1.63	1.80	0.73	3.16	0.19	0.02	0.01	0.02	99.44	8.13	43.17
142	东晋	黑釉片	56.59	14.19	4.28	0.96	17.80	1.26	1.56	0.82	2.21	0.26	0.02	0.02	0.03	100.00	6.74	36.48
150	北宋	黑釉器	56.87	14.24	7.53	0.90	11.67	2.68	0.58	0.07	1.81	3.77		0.01	0.02	100.15	9.54	21.07
192	北宋	建窑兔毫盏	58.66	20.59	3.22	0.69	6.85	1.92	3.72	0.24	2.47	0.82	0.01	0.02	0.02	99.23	5.96	45.97
172	宋	黑釉片	60.99	18.52	2.21	1.47	7.44	2.27	3.48	0.61	0.68	0.97	0.02	0.01	0.01	100.40	2.97	25.59
158	元	黑釉器	63.61	15.40	4.35	0.82	6.80	2.61	2.87	0.39	1.24	0.61	0.02	0.02	0.02	98.76	5.73	24.08
57	唐	黑釉片			2.80	1.32	5.26	1.57	3.19	1.56	1.12	0.08	0.02	0.02	0.03		4.01	30.69
68	宋	黑釉片	66.30	13.50	4.55	0.97	8.88	1.71	2.56	0.69	1.70	0.11	0.02	0.02	0.02	101.02	6.44	29.35
85	宋	酱釉片	65.85	16.32	3.48	0.95	5.64	2.44	2.33	1.04	2.22	0.07	0.02	0.02	0.02	100.40	5.95	41.51
86	宋	黑釉片	65.65	15.28	4.95	0.75	6.89	2.66	1.80	1.38	1.81	0.09	0.09	0.02	0.02	101.39	6.96	29.09
87	宋	黑釉片	66.17	13.40	4.10	0.85	7.20	2.29	3.07	0.99	2.50	0.06	0.01	0.01	0.02	100.68	6.88	40.26
90	宋	黑釉片	65.24	15.97	3.37	0.94	7.04	2.19	2.49	0.89	1.89	0.06	0.02	0.01	0.02	100.10	5.47	38.39
4	宋	油滴釉碗	68.63	13.38	4.17	0.87	4.28	1.88	4.32	1.05	1.05	0.09	0.02	0.03	0.03	99.82	5.34	21.91
83	金	黑釉片	66.40	13.41	4.03	1.15	7.39	2.30	2.81	0.63	1.24	0.06	0.02	0.02	0.02	99.48	5.41	25.51
79	元	黑釉片	67.78	14.74	4.89	0.93	4.89	2.53	2.57	0.85	1.88	0.06	0.02	0.01	0.02	101.17	6.98	29.94
277	晋	黑釉片	65.32	14.00	4.68	0.88	7.00	2.43	2.52	1.92	1.48	0.10	0.02	0.03	0.02	100.39	6.32	25.95
130	宋	黑釉盏	63.77	14.38	4.89	0.96	6.77	2.29	2.57	0.81	1.88	0.14	0.02	0.03	0.02	100.52	6.98	29.94

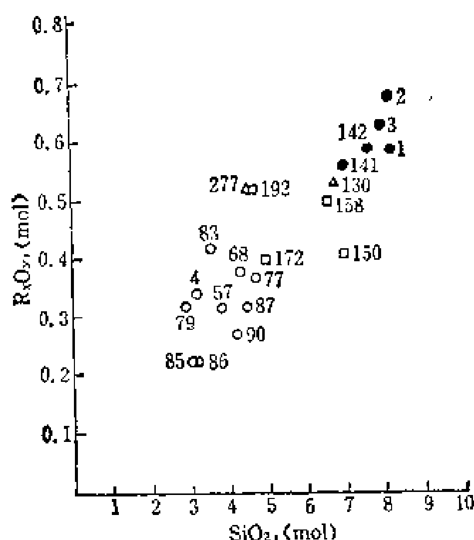
172# 为黑釉上玳瑁状斑的分析结果。

表 8-8 历代黑釉瓷釉的化学式

标本号	年代	名　称	化　学　式	$SiO_2:Al_2O_3$
2	东汉	黑釉片	$\left.\begin{matrix}0.724\ CaO\\0.134\ MgO\\0.095\ K_2O\\0.037\ Na_2O\\0.010\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.342\ Al_2O_3\\0.032\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}2.300\ SiO_2\\0.037\ TiO_2\end{matrix}$	6.7
3	东汉	黑釉片	$\left.\begin{matrix}0.723\ CaO\\0.123\ MgO\\0.099\ K_2O\\0.044\ Na_2O\\0.011\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.333\ Al_2O_3\\0.030\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}2.311\ SiO_2\\0.030\ TiO_2\end{matrix}$	6.9
141	东晋	黑釉器	$\left.\begin{matrix}0.846\ CaO\\0.084\ MgO\\0.030\ K_2O\\0.025\ Na_2O\\0.006\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.226\ Al_2O_3\\0.060\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}1.786\ SiO_2\\0.025\ TiO_2\end{matrix}$	7.9
142	东晋	黑釉片	$\left.\begin{matrix}0.828\ CaO\\0.083\ MgO\\0.044\ K_2O\\0.034\ Na_2O\\0.011\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.362\ Al_2O_3\\0.070\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}2.456\ SiO_2\\0.031\ TiO_2\end{matrix}$	6.8
150	北宋	黑釉器	$\left.\begin{matrix}0.621\ CaO\\0.200\ MgO\\0.018\ K_2O\\0.003\ Na_2O\\0.158\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.418\ Al_2O_3\\0.140\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}2.830\ SiO_2\\0.033\ TiO_2\end{matrix}$	6.8
192	北宋	建窑兔毫盏	$\left.\begin{matrix}0.540\ CaO\\0.212\ MgO\\0.177\ K_2O\\0.018\ Na_2O\\0.053\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.894\ Al_2O_3\\0.088\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}4.327\ SiO_2\\0.040\ TiO_2\end{matrix}$	4.8
172	宋	黑釉片	$\left.\begin{matrix}0.490\ CaO\\0.210\ MgO\\0.213\ K_2O\\0.037\ Na_2O\\0.050\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.426\ Al_2O_3\\0.103\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}3.739\ SiO_2\\0.066\ TiO_2\end{matrix}$	8.8
158	元	黑釉器	$\left.\begin{matrix}0.522\ CaO\\0.280\ MgO\\0.134\ K_2O\\0.026\ Na_2O\\0.038\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.651\ Al_2O_3\\0.116\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}4.569\ SiO_2\\0.043\ TiO_2\end{matrix}$	7.0
68	宋	黑釉片	$\left.\begin{matrix}0.657\ CaO\\0.178\ MgO\\0.112\ K_2O\\0.045\ Na_2O\\0.008\ MnO\end{matrix}\right\}\left.\begin{matrix}0.545\ Al_2O_3\\0.116\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\begin{matrix}4.566\ SiO_2\\0.050\ TiO_2\end{matrix}$	8.4

(续)

标本号	年代	名称	化学式			$SiO_2:Al_2O_3$
85	宋	黑釉片	0.493 CaO 0.298 MgO 0.122 K_2O 0.084 Na_2O 0.004 MnO	0.780 Al_2O_3 0.103 Fe_2O_3	5.360 SiO_2 0.059 TiO_2	6.9
86	宋	黑釉片	0.530 CaO 0.289 MgO 0.082 K_2O 0.095 Na_2O 0.004 MnO	0.647 Al_2O_3 0.134 Fe_2O_3	4.716 SiO_2 0.039 TiO_2	7.3
87	宋	黑釉片	0.546 CaO 0.242 MgO 0.140 K_2O 0.068 Na_2O 0.004 MnO	0.555 Al_2O_3 0.110 Fe_2O_3	4.674 SiO_2 0.047 TiO_2	8.4
90	宋	黑釉片	0.550 CaO 0.240 MgO 0.114 K_2O 0.061 Na_2O 0.035 MnO	0.686 Al_2O_3 0.052 Fe_2O_3	4.747 SiO_2 0.052 TiO_2	6.9
4	宋	油滴釉碗	0.406 CaO 0.251 MgO 0.247 K_2O 0.091 Na_2O 0.005 MnO	0.701 Al_2O_3 0.139 Fe_2O_3	6.118 SiO_2 0.059 TiO_2	8.7
83	金	黑釉片	0.571 CaO 0.251 MgO 0.131 K_2O 0.043 Na_2O 0.004 MnO	0.567 Al_2O_3 0.108 Fe_2O_3	4.792 SiO_2 0.061 TiO_2	8.5
79	元	黑釉片	0.453 CaO 0.328 MgO 0.141 K_2O 0.073 Na_2O 0.005 MnO	0.755 Al_2O_3 0.161 Fe_2O_3	5.885 SiO_2 0.063 TiO_2	7.8
277	晋	黑釉片	0.510 CaO 0.249 MgO 0.110 K_2O 0.127 Na_2O 0.004 MnO	0.559 Al_2O_3 0.118 Fe_2O_3	4.445 SiO_2 0.045 TiO_2	7.95
130	宋	黑釉盏	0.550 CaO 0.259 MgO 0.123 K_2O 0.059 Na_2O 0.009 MnO	0.641 Al_2O_3 0.141 Fe_2O_3	4.982 SiO_2 0.055 TiO_2	7.8



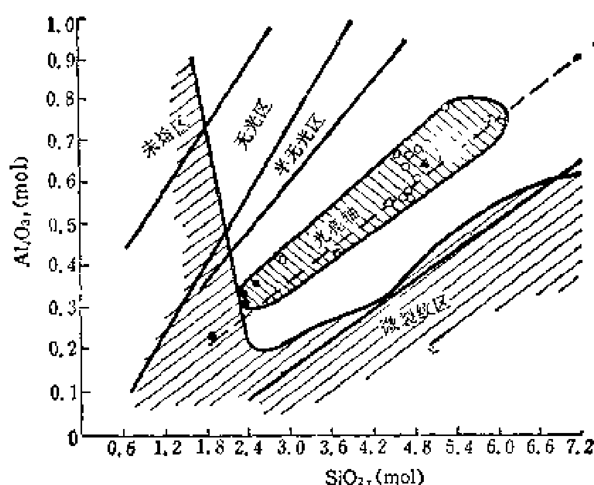


图 8-9 历代黑釉瓷釉的组成分布图

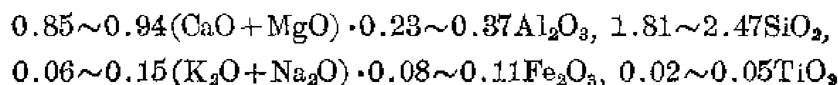
●—南方早期黑釉瓷；□—南方黑釉瓷；○—北方黑釉瓷；

R_xO_y—Fe_2O_3、TiO_2、CaO、MgO、K_2O、Na_2O

△—抚顺大官屯黑釉瓷和四川广元黑釉瓷

图 8-10 历代黑釉瓷釉的组成分布图

黑釉瓷釉的化学组成中 SiO_2 含量较低，为 52.10～56.59%，Al_2O_3 含量为 11.25～20.59%，CaO 为 6.88～22.99%。南方早期的黑釉大多为钙质灰釉，少量为碱-灰釉。釉色决定于含铁总量及总铁量中 FeO 的比量。德清窑黑釉内 FeO 的含量最高（约 3.16%），故黑色较深；北方各黑釉中 FeO 含量较低，有的为棕色，釉的化学式为：



$$0.85\sim0.94(CaO+MgO)\cdot0.23\sim0.37Al_2O_3,\ 1.81\sim2.47SiO_2,$$
$$0.06\sim0.15(K_2O+Na_2O)\cdot0.08\sim0.11Fe_2O_3,\ 0.02\sim0.05TiO_2$$

从图 8-9 釉的组成分布图还可以看出：

1. 东汉时期南方早期的黑釉和东晋黑釉(141#)位于开裂区或接近开裂区，说明南方早期的黑釉内熔剂(R_xO_y-Fe_2O_3、TiO_2、CaO、MgO、K_2O、Na_2O) 含量较高，釉的膨胀系数较大，故釉容易产生开裂，早期黑釉瓷的烧成温度也较低，为 1130～1240℃。

2. 北宋至元代的南方黑釉瓷(150#、192#、172#、158#)在釉的分布图中显示出熔剂组成逐渐降低的倾向，表明其烧成温度比早期黑釉瓷增高(实测为 1250～1330±20℃)，其中，建阳兔毫盏烧成温度最高，釉的组成已靠近半光亮区，因此釉呈半光亮状态；其余三种(150#、172#、158#)均靠近光亮轴，故釉面呈光亮状态。

3. 从分布图中可以看出，北方黑瓷的釉内熔剂含量较少，SiO_2、Al_2O_3 含量较高，一般说来其烧成温度提高(除 4# 山西临汾油滴釉外，其他为 1290～1350±20℃)，且都分布在光亮轴的左右，说明其釉面光泽度较高，其 Al_2O_3/SiO_2 之比约 1/7～1/10，故釉面多呈光亮状态。

4. 277# 晋朝抚顺大官屯黑瓷釉，其组成基本上与北方黑釉属同一类型。130# 宋代四川广元黑瓷釉，其组成和烧成温度均接近北方黑釉。两种黑釉均分布在光亮轴上，说明釉面也光亮。

（一）兔毫釉　兔毫釉是我国黑釉瓷(也称天目)的重要品种之一，在宋代吉州、河南、山西等地的古窑址中均有发现，唯以福建建窑的兔毫盏(又称"建盏")最负盛名。因其黑釉中常呈现出棕黄色或银白色的细流纹，极似兔毫，故称兔毫釉。根据近年来我国科学工作者的研

究，几种典型兔毫釉的胎、釉化学组成分别列于表 8-9 和表 8-10。

从上述建窑兔毫盏的胎、釉化学组成可见，其胎的组成为：$SiO_2$63～69%、$Al_2O_3$17～24%、K_2O2.3～2.9%、$Fe_2O_3$7～10%，基本上属 $K_2O-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ 系统；其釉的组成为：$SiO_2$60～63%、$Al_2O_3$18～20%、$Fe_2O_3$5～8%、K_2O3～5%、$P_2O_5$0.9～1.4%，可以认为属 $P_2O_5-K_2O-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ 系统，可见釉料的组成是比较复杂的。从对福建建阳兔毫盏的研究表明，釉形成兔毫的机理主要是釉中的 P_2O_5 和 Fe_2O_3 以及露于釉面的钙长石(CAS_2)束晶对釉所起的不混溶性作用，从而产生液相分离的结果。

根据实物标本，建阳兔毫盏基本分为金兔毫、银兔毫和灰兔毫釉三种。虽然形成兔毫的机理基本相同，但由于使用的原料和釉料配方以及烧成条件的不同，釉表面形成的条纹和呈现的色调也有所不同。近年来，福建省轻工所与建阳瓷厂仿制的兔毫盏釉基本上由当地的瓷石、红土和杂木灰组成，其比例大致为 2:1:2。根据古代实物残片测定结果，其釉的烧成温度为 1310～1320℃，由还原焰烧成。由此得知木灰在釉料的组成中起着很重要的作用。

表 8-9　建阳兔毫盏胎的化学组成[8]

编　号	组成 (m%)										吸水率(%)	烧成温度(℃)
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	烧失		
192	62.86	23.06	9.24	1.22	0.08	0.45	Cr_2O_3 0.02	2.53	0.45	—	0.9	1330±20
77-Shuiji	68.61	17.73	9.71	—	0.06	0.47	0.11	2.92	0.03	0.43	未测	1300～1310
77 $JLT_2(2)$	64.84	23.56	7.61	—	0.05	0.44	0.07	2.17	0.02	0.13	—	1300～1310
77 $JCT_4(2)7$	63.62	24.09	8.11	—	0.04	0.53	0.08	2.60	0.02	0.67	—	1300～1310
TB_4	64.77	22.25	8.80	1.61	0.04	0.46	0.08	2.17	0.07	0.36	—	1300～1310
TO_2	63.30	23.10	9.65	1.10	0.16	0.44	0.09	2.51	0.06	0.64	—	1300～1310
13#	62.15	25.45	8.22	1.16	0.09	0.53	0.08	2.38	0.18	—	—	1300～1310

表 8-10　建阳兔毫盏釉的化学组成

编　号	化　学　组　成　(m%)											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	FeO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	
192	58.66	20.59	3.22	0.69	6.85	1.92	0.82	2.47	3.72	0.24	—	
77-Shuiji	62.02	18.79	6.64	0.64	5.55	1.56	0.56	—	3.11	0.11	0.97	
77 $JLT_2(2)$	61.48	18.61	5.66	0.57	6.58	1.97	0.72	—	3.01	0.09	1.20	
77 $JCT_4(2)7$	60.70	18.06	5.47	0.52	7.39	2.00	0.72	—	3.39	0.11	1.41	
TB_4	62.17	17.85	5.85	0.58	6.55	1.85	0.69	1.00	3.04	0.12	1.18	
TO_2	62.01	18.36	8.49	0.64	4.97	1.54	0.53	5.58	2.53	0.08	1.09	
13#	59.23	19.25	5.90	0.88	6.76	2.42	0.10	—	4.66	0.72	0.07	
*P-1	59.78	20.30	6.18	0.65	6.95	2.16	0.03	—	3.02	0.90	微量	SO_3 0.60

* 根据 1935 年 J. M. Plumer 的分析结果

（二）吉州窑　吉州窑是我国陶瓷史上规模较大的瓷窑之一，产品种类繁多，最著称于世的是它的黑釉瓷（或称吉州天目釉），如窑变天目、鹧鸪斑、玳瑁、木叶天目、剪纸漏花等。它的釉色变化不仅丰富多彩，而且烧制工艺独辟新的蹊径。根据江西省文物工作队和吉安县文物管理办公室于 1980 年冬的发掘，得出吉州窑烧造历史为：创烧于唐代，发展于五代和北

宋，兴盛于南宋，元初趋于衰落，明代中期一度有小规模的短期生产[10]，前后达 1200 年之久。

根据近年来有关文献记载，典型吉州窑瓷的胎、釉的化学组成如表 8-11 和表 8-12 所列。

表 8-11　几种吉州黑瓷胎的化学组成*

编号	品名	化学组成 (m%)										灼失 (%)	吸水率 (%)	烧成温度 (°C)
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	(BaO)			
172	吉州玳瑁	66.77	28.00	1.44	1.07	0.10	0.32	(Cr_2O_3) 0.02	5.07	0.46	(BaO) 0.27	1.31	7.9	1270±20
76-4Ji (H-C)	吉州玳瑁	59.74	30.42	0.82	1.05	0.03	0.27	—	6.88	0.12	—	0.33	0.23	1270±20
J-Tian-jing	吉州玳瑁	68.08	22.63	1.25	1.01	0.03	0.30	—	5.59	0.28	—	1.21	0.97	1270±20
76-4-Ji (H-Z)	吉州曜变	61.70	28.33	4.37	—	0.08	0.70	0.03	3.59	0.07	—	0.59	0.64	1270±20
76-4-Ji (H-D)	吉州兔毫	70.41	21.27	1.35	1.16	0.02	0.26	—	4.65	0.24	—	1.25	2.8	1270±20

表 8-12　几种吉州黑瓷釉的化学组成*

编号	品名	化学组成 (m%)												
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	FeO	CuO	CoO
172	吉州玳瑁	60.99	18.52	2.21	1.47	7.44	2.27	0.97	5.48	0.61	未测	0.68	0.02	0.03
76-4-Ji (H-C)	吉州玳瑁	61.90	13.50	4.31	0.91	8.01	3.62	0.92	5.11	0.34	1.59	—	—	—
J-Tian-jing	吉州玳瑁	60.76	12.77	4.57	0.88	9.03	2.73	1.21	4.95	0.28	1.91	—	—	—
76-4-Ji (H-Z)	吉州曜变	62.10	12.82	6.22	0.67	9.00	3.30	0.84	2.93	0.28	1.57	—	—	—
76-4-Ji (H-D)	吉州兔毫	60.25	13.94	4.81	0.71	9.08	3.23	1.12	[illegible]	0.32	1.33	—	—	—

* 表中编号 172 系建材研究院分析，其余系中科院上海硅酸盐研究所分析[11]。

从上述几种吉州窑天目釉瓷胎的化学组成看，这些胎是由当地的瓷石和粘土组成的，除个别品种的吸水率较高外，大部分都已达到烧结，瓷化程度较好的胎质，均采用斜长 36.8 m、坡度约 25° 的龙窑烧成，烧成温度为 1270～1300°C。其外观釉色之所以有强烈的艺术感，除烧成因素外，关键原因是釉中呈现的液相分离现象。液相分离是由于釉中的 P_2O_5 和 Fe_2O_3 对釉的不混溶性造成的。随着釉中 P_2O_5 和 Fe_2O_3 的含量及烧成条件的变化，形成吉州窑特有的鹧鸪斑、玳瑁、兔毫等各种独特的釉色。至于吉州窑中的木叶天目和剪纸贴花等装饰技术，也都是在此黑釉的基础上运用新的装饰方法所创造的艺术高超的品种。吉州窑除黑釉外，还有酱釉、青釉、米黄、乳白、绿釉以及在装饰技术上的白釉彩绘、洒釉、剔花、印花、堆花等，这些产品均有浓厚的地方艺术色彩。吉州窑的各种黑釉瓷与建阳黑釉瓷一样，都是我国南方著名的天目釉。

（三）、油滴天目釉

油滴天目也称油滴黑釉，也是我国黑釉中的名贵品种之一，它不仅产于我国南方的建窑

和吉州窑，而且在北方的河南、山东、山西等省也曾大量烧制。它基本上用一种含 Fe_2O_3 量较高的粘土配釉烧制。由于原料中的 Fe_2O_3 分解出大量气体，烧成后冷却时，这些气体形成的气泡遍及于釉面，其效果酷似油滴或雨点，故称“油滴”或“雨点”釉。其化学反应为：当釉内温度高于 1000°C 时 Fe_2O_3 即分解为 FeO 或 Fe_3O_4 和 O_2，反应式为：



$$6Fe_2O_3 \longrightarrow 4Fe_3O_4+O_2$$

或



$$2Fe_2O_3 \longrightarrow 4FeO+O_2$$



$$FeO+Fe_2O_3 \longrightarrow Fe_3O_4$$

当温度继续升高至 1250°C 时，由于窑内氧的分压力相应地增高，产生了大量的氧气和氧化亚铁(FeO)，冷却后，在气泡的内壁形成一层具有金属光泽的赤铁矿或磁铁矿晶体，最后在釉面上形成轮廓清晰和分布有序的油滴。由此可见，油滴釉在烧制过程中控制发泡温度有很重要的意义，因为烧成温度过低形成不了油滴；过高油滴又会散开或流成“兔毫”，通常“兔毫”釉的烧成温度较“油滴”高[13]。

近年来，我国山东、山西等地生产的油滴釉，其原料基本上是采用一种天然的称为“黑釉土”的粘土，经过检选、风化、淘洗、陈腐后制成一定浓度的釉浆，施于坯体表面，釉层厚度为 1.2～1.5 mm，烧成温度为 1220～1250°C。这种釉土内的 Fe_2O_3 的含量必需加以适当地选择和控制，通常为 4～8%。过低釉中无晶体；过高则出现铁锈，不易生成雨点。山西、山东两地的“黑釉土”以及有关胎、釉的化学组成如表 8-13～表 8-15 所列。

表 8-13　山西、山东两地黑釉土的化学组成*

地区名称	化学组成 (m%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	灼减
山西招贤软釉	57.50	15.38	5.80	0.72	4.93	2.66	3.16	1.65	7.95
山东黑釉土	61.35	13.99	5.40	0.73	4.92	2.91	2.75	1.77	7.57

表 8-14　几种山西油滴釉瓷胎的化学组成*

编号名称	化学组成 (m%)										吸水率 (%)	烧成温度 (°C)
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	烧失		
4 宋临汾油滴	58.33	31.43	3.63	2.05	0.59	0.64	—	1.92	0.71	—	9.6	1260±20
Xiao-Yu-4 山西红油滴	61.93	30.65	2.52	1.27	1.08	0.68	—	1.84	0.18	0.28	1.83	1260±20
Jie-Xiu(Snang) 山西介休银油滴	55.34	36.46	3.64	1.86	0.39	0.65	—	1.35	0.25	0.44	6.6	1260±20

表 8-15　几种山西油滴釉的化学组成*

编号名称	化学组成 (m%)												
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	Cr_2O_3	CuO	CoO	FeO
4 宋临汾油滴	68.63	13.38	4.17	0.87	4.28	1.88	0.09	4.32	1.05	0.02	0.03	0.03	1.05
Xiao-Yu-4 山西红釉滴	64.13	14.70	6.33	0.99	6.73	2.00	0.10	2.55	1.10	P_2O_5 0.25	—	—	—
Jie-Xiu(Snang) 山西介休银油滴	65.00	15.08	6.80	0.89	6.23	2.66	0.09	2.85	1.20	0.15	—	—	—

* 表中编号 4 为建材院分析，其余为中国科学院上海硅酸盐研究所分析。

从表8-14中可以看出，山西油滴釉的化学组成与兔毫、玳瑁、曜变等釉相比，P_2O_5的含量极微，尽管釉面状态不同，但仍发现有分相小滴存在于残留石英与钙长石晶束之间，说明油滴釉经高温熔融也存在不混溶性的液相分离现象。

总之，在我国传统的高温颜色釉中，除青釉、红釉和黑釉外，在明、清时期还创造出了许多名贵的色釉瓷，这些名贵色釉瓷均属我国的优秀技术和文化遗产，解放后，我国景德镇曾恢复过不少品种，但明、清这一历史时期的若干名贵色釉瓷，还有待于更系统地进行科学总结、研究和恢复。

参 考 文 献

[1] 友泽实、R. H. Doremus著，金刚、王广阳、陆坚译，《玻璃与电磁辐射的相互作用》，p35～36，建筑工业出版社，1981

[2] B. Camara著，陈显求译，瓷器，No 1，p63～67；No 2，p64～66

[3] 刘凯民，"钧窑釉的研究"，山东陶瓷，No 1，p40～57，1981

[4] 陈显求等，"宋、元钧瓷的中间层、乳光和呈色问题"，硅酸盐学报，Vol. 11，No 2，p129～139，1983

[5] W. D. Kingery and P. B. Vandiver, Jour. Am. Cer. Soc. Bull. p1270, Vol 62, No 11, 1983

[6] 李国桢、刘泽墉、郭演仪，"明、清景德镇铜红釉的研究"，第二届中国古代陶瓷科学技术国际会议论文，1985，北京

[7] 杨文宪，"古钧瓷与铜红釉"，河北陶瓷，No 4，p36～37，1981

[8] 凌志达，"我国古代黑釉瓷的初步研究"，硅酸盐学报，Vol 7，No 3，p 190，1979

[9] 陈显求等，河北陶瓷，No 2，p52，1983

[10] 江西省文物工作队、吉安县文物管理办公室，"吉州窑遗址发掘报告"，景德镇陶瓷(中国古陶瓷研究专辑)，第一辑，p23

[11] 陈显求、黄瑞福、陈士萍、阮美玲，"宋代天目釉中液相分离现象的发现"，景德镇陶瓷，No 1，p 4～9，1981

[12] 江西省文物工作队、吉安县文物管理办公室，"吉州窑遗址发掘报告"，景德镇陶瓷(中国古陶瓷研究专辑)，第一辑 p 10～11，1983

[13] 叶宏明，"曜变、油滴和兔毫"，河北陶瓷，No 1，p 17，1982

第九章 釉下彩瓷

UNDERGLAZE COLOR PORCELAINS

釉下彩瓷是在生瓷胎或素烧瓷胎表面彩绘后，施加一层透明或半透明釉，经烧成后，彩色呈现在釉下的彩瓷。釉下彩的特点是彩色画面不暴露于外界，而处于透明釉的覆盖下，既不会在使用过程中被磨损和腐蚀，又不致有沾污或污染的危害。中国传统釉下彩主要有三大类，即以氧化钴为主要着色剂的釉下彩，称为"青花瓷"；以氧化铁为主要着色剂的褐彩和黑彩瓷；以氧化铜或氧化亚铜为主要着色剂的绿彩和称为"釉里红"的红色釉下彩瓷。青花釉下彩以天然钴矿为色料，早在唐代已开始制作，据实物分析推测，其烧造地点是在河南的巩县一带。由于当时烧制数量少，至今遗存的器物有限，考古发掘亦不多。浙江在宋代已烧制青花瓷，当时色料是采用当地出产的钴土矿。元代，云南玉溪地区瓷窑也使用当地钴矿彩绘制造青花瓷器。元代以后，江西景德镇大量生产青花瓷，尤其明初开始，宫廷在景德镇设置御窑场，集中大量人力物力，不计成本烧制青花瓷为宫廷服务，到了清代则更有所发展和提高。唐代，长沙铜官窑曾以氧化铁矿物为着色剂制作釉下褐彩，有彩斑装饰，也有绘画彩饰。此外，尚以氧化铜矿物为色料彩饰瓷器，氧化铜在氧化气氛下烧成时，浓度过高时着成绿色或蓝绿色；若浓度较稀且在还原性气氛下烧成，则呈显红色。因此长沙铜官窑釉下彩中不论彩斑还是彩绘，常呈褐绿色或蓝绿中带有部分红色的彩饰。宋代，磁州窑开创了以含氧化铁天然矿物为着色剂的釉下褐彩和黑彩，对我国釉下彩瓷的发展和扩大起了重要作用。这类釉下彩瓷遍及黄河流域的河南、河北、陕西、山西和山东等地区的各窑场。南方的吉州窑在宋代也有釉下褐彩和黑彩，都是受磁州窑的影响而来。以铜为着色剂的釉下彩瓷除唐代长沙铜官窑烧制较早外，江西景德镇元代已开始烧造，景德镇元以后的明、清各时期所烧制的均为红色的"釉里红"釉下彩瓷。釉里红色料除使用铜的氧化物原料外，尚须掺以含钾、钠为熔剂成分的熔块或玻料及含钙、镁的矿物原料，以调节其浓度和性能。三类釉下彩相比，以铁的氧化物为着色剂的褐彩或黑彩最易烧制，以铜为着色剂的釉里红彩最难控制，因铜易于在高温下挥发，对温度和气氛均十分敏感。历代釉下彩瓷流传下来的实物以釉里红彩瓷数量最少，也与这一原因有关。

釉下彩绘方法的创立和兴起为瓷器的装饰开辟了新的途径；它可以使用毛笔，仿效国画的艺术技法，绘出以往靠划花、刻花和印花技法所不能显现的艺术内容和效果，使瓷器在装饰方面有了新的进展。

浙江地区曾发现越窑在唐、五代时期已使用富铁矿物作为着色颜料彩饰青瓷的事实[1]。越窑以烧造青瓷为主，但兼烧少量黑釉瓷器，黑釉的配制要采用含氧化铁高的矿物原料，因此可以设想当时使用含氧化铁高的矿物作为着色原料彩饰青瓷也是很方便的事。可见釉下彩饰方法的开始不论南方或是北方都起始于唐代，这说明在中国瓷器发展过程中，每当工艺和艺术上到达一定的成熟条件，必然会产生出这种技艺进步的结果。

釉下彩料在彩绘使用之前需要将颜料矿物和掺和用的附加矿物或熔块料一起研磨至极

细，然后调以胶粘和润色剂，使色料调到适当稠度，再根据彩绘需要随时稀释，掌握彩的浓淡。常用胶粘润色剂有茶叶汁、牛胶水溶液、乳香油和树胶等。传统釉下彩都是手工彩绘，早期釉下彩的彩绘不分浓淡润色，景德镇后期的青花釉下彩则明显分出深、浅、浓、淡层次，这是在彩绘技术上的进步。彩绘的深、浅、浓、淡主要靠绘画者的经验调节控制。

早期釉下彩瓷器都在1200°C上下烧成，各窑区在各时期也不全相同，有些制品常在1200°C以下烧成，如北方磁州窑的褐彩和黑彩瓷有时偏生烧，色彩和釉面显得不够光润，胎的气孔率很高。到后期，特别是景德镇的青花、釉里红釉下彩，烧成温度都在1200°C以上，明、清时代的样品大都在1250°C以上烧成，这与烧成技术水平的提高有关。

青花釉下彩和釉里红釉下彩都是直接画在瓷坯表面。青花所呈现的蓝色并非依赖纯氧化钴的着色效果，而是钴、铁、锰的综合着色色调，甚至少量铜等元素也有一定影响。其中，钴与铁、锰、铜等元素的比例以及色料中所含硅、铝、钾、钠、钙、镁的比量不同，都会对色料呈色的色调有影响。如将高岭土或瓷石加入钴矿中，所得色料的呈色色调也有差别。不同时代所用钴矿矿源不同，色调也不相同，差别十分明显。釉料的成分和高温下釉的性质，诸如粘度和流动度都对着色效果有影响。因此，历代青花瓷釉下彩色的色调各有特点，与所用钴矿来源、掺合料、处理方法、釉料成分以及烧成温度和气氛都有密切关系。

釉里红釉下彩也是将彩料直接绘画在瓷坯表面。铜的着色随温度、气氛的变化比钴、铁、锰等元素都敏感得多，在高温下尚易在釉中扩散、挥发，特别是铜的含量控制是最关键的因素。

北方磁州窑系的褐彩和黑彩瓷并非直接彩绘在瓷胎上，而是画在白色的化妆土层上面。因为北方的粘土原料中含铁、钛等着色杂质较高，原料的颗粒度较粗，用这类原料制作瓷胎，其颜色呈灰黄，且常带有着色斑点，因此北方瓷器，特别是白瓷总采用在瓷胎表面施加一层化妆土的方法，以遮盖胎的逊色，提高瓷器的外表质量和白度。化妆土一般均使用杂质含量低和颗粒较细的优质粘土，在瓷胎的表面施加一薄层。白色化妆土的纯白色在褐、黑色釉下彩的衬托下，使磁州窑系彩瓷具有特殊的美感。黑彩上还可划花，如叶筋和轮廓常用工具划去已画好的彩料，露出化妆土白地，这类瓷器称为“黑彩划花”。磁州窑釉下彩瓷的釉是很薄的，烧成后的褐、黑色在釉中也向表面扩散形成褐茶色的玻璃态釉。

一般说吉州窑和景德镇窑是由磁州窑流传而影响来的，但磁州窑的技术是由何处影响和流传而来尚不甚清楚。河南巩县的青花瓷、湖南长沙铜官窑的釉下彩瓷以及越窑的釉下彩饰瓷都出现在早于磁州窑彩瓷的唐代，究竟他们之间有什么关系，对磁州窑又有多大影响，是值得今后研究的问题，这对进一步认识我国早期釉下彩瓷的制作技术的进步和起源有十分重要的意义。这一点的实现要靠考古的进一步发掘和科学研究的进一步分析来完成。

一、唐代长沙窑彩瓷

长沙窑又称铜官窑，在唐代已经生产釉下彩瓷器，是我国最早制作釉下彩瓷的窑区之一。铜官窑瓷器早期以斑点彩饰为多，即在青釉瓷器上以褐色彩料或蓝绿色彩料点画成斑点或画成简单的花草纹。褐色彩料是以含铁量高的矿物原料作为色料；蓝绿彩则是以含氧化铜的矿物原料或炼铜渣料作为色料，加工磨细后配成彩料施于瓷器的四周部位。这种点斑彩在高温下烧成时常常流动，流下的绿色色彩有时会局部变成红色，这主要是其中所含的氧化铜被还原着色的缘故。绘画比较复杂的多是以氧化铁矿物绘成的褐色釉下彩。铜官窑

表 9-1　唐铜官窑瓷器胎的化学组成[2]

编号	氧化物含量 (m%)											备注
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	总计	
TD-8	73.43	18.21	2.31	0.96	0.19	0.61	2.67	0.09	0.02	0.06	99.06	烧失 0.51
TD-11	72.62	20.73	1.78	0.79	0.17	0.45	2.11	0.09	0.01		98.75	
TD-12	73.89	18.71	2.06	0.98	0.31	0.62	2.55	0.17			99.29	
TD-13	76.20	16.67	2.23	0.76	0.22	0.55	2.29	0.15	0.01		99.13	
TD-14	75.47	18.05	1.82	0.83	0.25	0.62	2.56	0.13	0.02		99.75	

瓷器的釉色有多种，如青釉、白釉都有，但其胎的化学成分大体相同。表 9-1 是几种典型铜官窑瓷胎的化学组成。从表中可见，胎的化学组成与南方浙江、景德镇诸窑瓷胎的化学组成是十分接近的。属高硅质瓷胎，其中，Fe_2O_3 含量较高，故瓷胎呈灰色或黄色。一般铜官窑的瓷胎胎质较粗，也许是淘洗处理不够精细的关系。釉中，P_2O_5 含量较高，说明当时采用植物灰作为原料配制成灰釉使用。灰白色和青色釉中 Fe_2O_3 含量在1～1.5%；褐色或黑褐色釉和彩中 Fe_2O_3 的含量在 4～9%；红、绿和蓝釉、彩中 Fe_2O_3 含量大多在1.5～2.3%，而 CuO 的含量在1.6～3.8%。几种代表性釉、彩样品的化学分析结果列示于表 9-2 中。

表 9-2　铜官窑釉彩的化学组成[2]

编号		颜色	氧化物含量 (m%)														
			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	MnO	P_2O_5	CoO	CuO	SnO_2	总计
色釉瓷	TD-2	灰白	58.99	9.67	20.65	2.87	2.19	0.33	0.79	1.00	0.22	0.59	2.14				99.44
	TD-3	深绿	54.85	8.73	19.44	2.82	1.93	0.20	0.87	1.56	0.46	0.52	1.98		3.78	0.70	97.84
	TD-4	黑褐	53.19	12.65	14.98	2.87	1.95	0.11	0.98	8.00	1.65	0.62	2.02			0.04	99.02
	TD-5	豆绿	57.38	8.09	18.03	3.09	2.07	0.34	0.56	1.19	0.31	0.66	2.19		3.13	0.40	98.57
釉下彩瓷	TD-7	黄灰	62.99	12.32	15.39	2.46	2.26	0.77	0.76	1.72		0.54					99.21
		淡绿			16.74	2.67	2.42	0.98		1.59		0.58			1.66		
	TD-8	黄青	63.76	18.29	9.54	1.39	2.72	0.20	0.90	1.61	0.11	0.25	0.75				99.41
		红			17.23	2.38	2.08	0.29		1.69		0.47			2.41		
	TD-10	褐红			13.63	1.71	2.24	0.28		4.53		0.38			1.74		
	TD-11	基釉	61.00		16.09	2.50	2.01	0.21	0.77	2.20		0.53	0.90				
		草绿			12.82	2.24	2.25	0.32		2.18		0.53		0.02	2.92		
	TD-12	米黄釉	60.14		12.34	2.62	2.24	0.20	0.76	2.26		0.42	1.04				
		蓝绿			17.32	3.19	1.96	0.24		2.37		0.55	0.95	0.01	2.96		
		褐黑			13.81	2.59	1.97	0.21	0.91	8.97		0.47	1.06		0.15		
	TD-14	褐色	56.48	11.27	19.33	2.42	1.82	0.22	0.89	4.35		1.97	1.05				99.82

铜官窑色釉和釉下彩瓷的烧成温度一般在1150～1200°C。铜官窑的釉、彩均属高钙质釉彩，CaO 的含量可高达 20% 之多。色釉和釉下彩中的着色元素主要是 Fe 和 Cu，依靠它们在不同气氛下和不同浓度下价态的差别呈现出不同颜色，装饰成各种色调的色彩。Cu 元素在还原性气氛下，釉彩中含量在千分之几或在1～3% 之间，易着成红色，浓度越高越易成

绿色；若在氧化性气氛下极易生成绿色或蓝绿色。Fe 元素在低浓度下还原时釉成青色，氧化时釉呈黄色；在高于 3% 以上则易成褐色、酱色；浓度再高，如 7～8% 则易呈黑褐色。在铜官窑的釉彩中以 Fe_2O_3 为着色剂的褐色釉彩中常常含有一定量的 CuO，在还原气氛下烧成易还原成褐红色，因此其褐色釉彩有时呈褐红色色调，乃是铁和铜的复合着色效果。此外，釉彩中有时有少量 MnO 和 CoO，也会对色调有一定影响。在铜官窑釉彩中尚发现有 SnO_2 存在，这对于着色元素的还原是有利的，可以起到辅助的作用。

铜官窑釉下彩装饰有斑点图案、彩条图案以及彩绘成花草、人物等多种形式。但其釉或彩中的着色元素的类型、含量和着色效果，在色釉中和彩中都十分相近。由此可见，铜官窑釉下彩的发展与色釉和彩的制作有着密切联系。

二、磁州窑彩绘

磁州窑为我国北方最著名的民间窑。瓷器的制造始于宋，衰于明，据考古调查，窑址处于以观台镇和彭城镇两处为中心的窑区。除河北省外，河南的鹤壁窑、禹县的扒村窑和登封窑，修武的当阳峪窑，山西的介休窑都生产磁州窑的釉下黑彩瓷器。磁州窑瓷器的主要装饰方法为白瓷釉下黑彩和白瓷釉下黑彩划花。此外尚有白釉剔花，绿釉釉下黑彩，白釉釉下酱彩和酱彩划花以及白釉红绿彩等多种彩饰。磁州窑瓷器的胎系用北方当地取材的粘土，这类粘土属高岭石质泥岩，含铝量较高，大都在 28～35%，含 SiO_2 较低，在 55～65% 左右，另外尚有少量含 K_2O 和 Fe_2O_3 及 TiO_2 的溶剂性和着色矿物杂质。由于原料中含铁、钛等着色杂质高，磁州窑彩瓷使用化妆土施加在胎表面，以遮盖其胎，从而提高瓷器的外观质量和白度。历代几种典型的磁州窑彩瓷的胎的化学组成列于表 9-3。从胎的化学成分也可清楚看出，磁州窑彩瓷的胎和北方其它瓷窑生产的瓷器的胎大致相近。一般磁州窑的烧成温度在 1150～1250°C，显然含铝如此高的瓷胎在这样的温度范围内是很难致密烧结的，既使在 1250°C 左右也仅达到接近烧结，所以磁州窑彩瓷胎大部分都处于不同程度的生烧。磁州窑彩瓷所用的着色彩料主要是含铁的矿石，当地称为“斑花石”。釉下黑彩和釉下褐彩在颜色上的差别，主要取决于彩料中所用着色矿物含量，黑彩的含铁量是褐彩含铁量的一倍以上。从含有色料的釉的化学分析可以看出，色料中含有少量的 MnO。Fe_2O_3 和 MnO 的组合对黑色的着色色调有一定关系，当色料中 Fe_2O_3 用量减少时就可形成赭褐色甚至浅茶色；用量增加即成深黑色。这和黑釉和褐釉（酱色釉）的着色是一种道理。表 9-4 示出了部分磁州窑彩瓷“黑花＋釉”和釉的化学组成分析。釉为钙碱质釉，含钙量在 5% 以下，钾、钠氧化物总量为 5～6%。釉厚在 0.1～0.3 mm。为透明釉，透过釉可透出化妆土的白色色调。其白色有纯白之感，与黑色或褐色彩饰相衬托，形成强烈对比，别开生面。有的尚在表面上施以低温绿色铅釉，形成绿地黑花，也显得十分雅致。磁州窑彩瓷对以后南北方彩绘技术的发展和盛兴影响甚大。正是这种以彩绘为主的装饰技艺，形成了宋代民窑在艺术上可与官窑瓷器抗衡而并存发展的一支主流，为宋代以后的釉下彩瓷器的发展奠定了基础。

从磁州窑釉下彩瓷的显微结构看，其胎、化妆土、着色彩料和釉各层都是非常清晰的。胎和化妆土的分界，低温绿釉和高温釉之间的分界都十分明显，黑、褐彩料在高温釉和化妆土层中形成一定宽度的扩散层，在釉中扩散形成褐色玻璃釉层，在化妆土一边形成为着色的均匀扩散区。典型的磁州窑釉下彩瓷的显微结构示于图 9-1。图中，(*a*)为白地黑花彩瓷；(*b*)为绿釉黑花彩瓷 。黑、褐色彩料层中主要矿物是磁铁矿和赤铁矿颗粒和扩散形成的褐色玻

表 9-3　历代磁州窑彩瓷胎化学组成[3]

编号	年代,名称	窑址	氧化物含量 (m%)										胎厚(mm)
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	总量	
Sc-1	北宋 白地剔黑花	观台窑	64.28	29.98	1.66	0.36	0.30	1.61	0.49	1.23	0.01	99.92	5～9
Sc-2	北宋 白地剔褐花	观台窑	61.02	32.01	2.17	0.32	0.38	1.84	0.44	1.82		100.00	5
Sc-4	北宋 白地彩绘黑花	观台窑	64.22	29.03	2.24	0.27	0.41	2.15	0.32	1.28		99.92	4～8
Sc-13	北宋 绿釉彩绘黑花	观台窑	57.75	35.14	1.95	0.37	0.53	1.67	0.28	1.74		99.43	6
Yc-2	元代 白地彩绘黑花	彭城窑	63.56	29.52	1.86	0.32	0.36	2.02	0.45	1.69	0.01	99.79	6～7
Yc-3	元代 白地彩绘黑花	元大都出土	62.63	35.15	2.24	0.59	0.35	1.88	0.42	1.26	0.01	99.53	10～15
Mc-1	明代 白地彩绘黑花	彭城窑	63.60	29.17	2.28	0.92	0.37	1.37	0.41	1.16	0.03	99.31	3～6
Oc-1	清代 白地彩绘黑花	彭城窑	65.12	28.14	2.21	0.63	0.44	2.27	0.33	1.46	0.04	100.64	6～10

表 9-4　历代磁州窑彩瓷釉和(釉＋黑花)的化学组成[3]

编号	分析部位	氧化物含量 (m%)														釉厚和特征(mm)
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	PbO	Fe_2O_3	TiO_2	CoO	CuO	MnO	P_2O_5	总数	
Sc-1	釉	69.62	18.01	4.72	1.02	3.60	2.24		0.37	0.31				0.11	100	0.3
	釉＋黑花			3.81	0.84	3.43	2.24		7.29		<0.01	<0.01	0.12	0.21		
Sc-2	釉	63.39	18.47	4.83	1.34	2.86	2.14		0.48	0.34				0.15	100	0.28
	釉＋褐花			3.90	1.30	2.65	2.29		2.38		<0.01	<0.01	0.07	0.17		
Sc-4	釉	72.29	16.65	4.06	0.63	3.72	2.01		0.31	0.24				0.13	100.04	0.18
	釉＋黑花			4.61	0.54	3.70	1.74		5.82		<0.01	<0.01	0.18			
Yc-2	白釉	69.76	19.11	3.31	0.82	3.91	1.86		0.92	0.23					99.92	2.14
	酱色釉	68.54	14.09	6.22	1.98	2.82	0.65		4.89	0.81					100	0.28
Yc-3	釉	70.31	18.47	3.39	1.15	3.22	2.41		0.55	0.22						0.30
	黑花＋釉			3.42	1.12	3.22	2.48		4.80		<0.01	<0.01	0.30	0.25		
Mc-1	釉			4.28	0.87	3.77	1.26		0.69	0.23						0.11～
	黑花＋釉			3.28	1.08	3.33	1.09		17.08		<0.01	<0.01	0.06	0.13		0.13
Oc-1	釉	71.43	16.95	2.55	0.86	3.72	2.43		0.57	0.28				0.12	98.91	0.11～
	黑花＋釉			2.19	0.75	3.18	2.39		17.00		<0.01	<0.01	0.30	0.21		0.13

璃层。

磁州窑彩瓷和其它北方诸窑彩瓷和部分白瓷一样，都使用化妆土，主要是为了遮盖胎的缺陷和改善瓷器质量，提高白度。磁州窑彩瓷使用的化妆土原料乃是含铁量较低和含铝量较高的粘土。化妆土层的化学组成分析如表 9-5 所列。实际上，当地所产化妆土用粘土原料的含铝量较所分析的化妆土层高，含铁量亦较化妆土层中低，有可能是化妆土层很薄，分

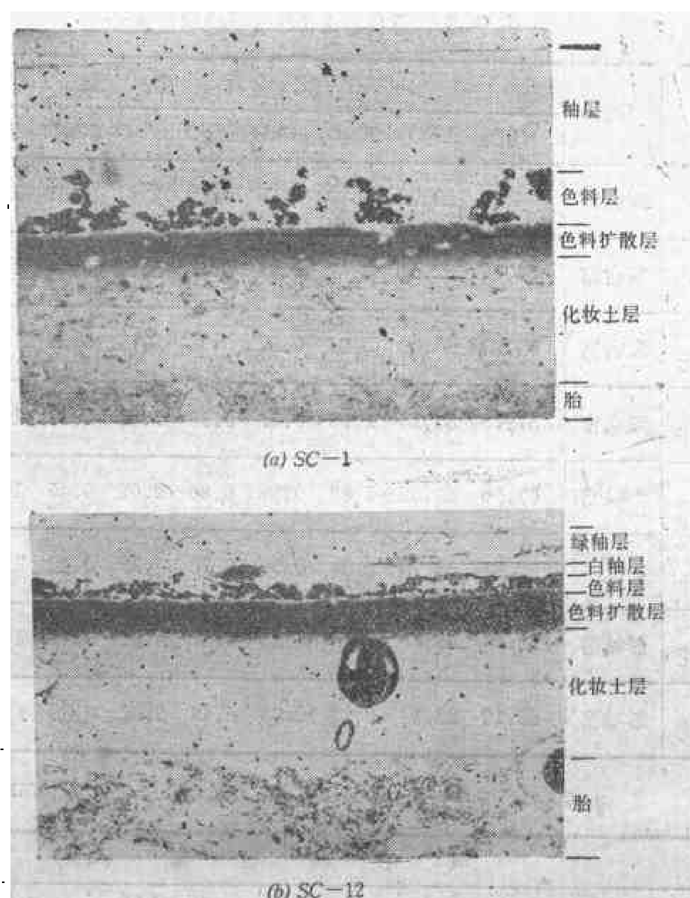


图9-1 磁州窑釉下黑彩瓷的显微结构

(a) 白地黑花彩瓷色彩的分布；(b) 绿釉黑花彩瓷的分层结构

表 9-5 化妆土层化学组成[3]

名称	氧化物含量 (m%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	总量
白瓷化妆土层	54.16	37.92	0.96	2.69	0.21	1.79	0.80	0.93	99.46
彩瓷化妆土层	52.96	36.39	1.12	1.04	0.26	2.52	0.10	1.37	95.76

离取样时在样品上有少量胎混入所致。

黑褐色彩料的着色原料在磁州窑地区称为"斑花石"，实际上是褐铁矿，其含铁量很高(Fe_2O_3>80%)。使用时可以釉料和一定量的粘土稀释，根据分析可大致估计作为黑彩色料一般斑花石的用量为1/5～1/15，作为褐色彩料用量在1/20～1/30，黑色釉瓷和酱色釉瓷中的含量也接近该用量范围。

三、青花瓷

青花瓷是以钴矿作为颜料绘于生胎表面，施以透明釉，在高温下一次烧成的蓝色彩饰的釉下彩瓷器。目前发现最早的青花瓷器为江苏扬州唐城遗址发现的唐代青花瓷片。宋代青花瓷片发现两处，一处为龙泉县金沙塔塔基中；另一处为绍兴县环翠塔塔基中。这些发现证明我国早在唐、宋时期就开始制作青花瓷器。元代有几处烧造青花瓷，其中质量最高和规模

最大的是景德镇瓷区，云南的玉溪窑和浙江的江山窑也都生产青花瓷，其数量和质量都不及景德镇。明代景德镇设置御窑厂，为宫廷烧造专用的瓷器，青花瓷成为瓷器生产的主流。当时在景德镇，民窑的数目也因国内外市场的需要而产量激增。清代青花瓷器的产量仍然很大，特别是康熙时期的青花层次分明，色泽鲜艳，在工艺和艺术技巧上更具特色。历代青花瓷由于所用青花色料的来源不同，钴矿中所含 CoO、Fe_2O_3 和 MnO_2 以及 CuO 等着色元素的比量的不同和其中 SiO_2/Al_2O_3 比及熔剂氧化物的差别，其色调也各具不同特色。青花釉下彩瓷之所以受人喜爱，并非纯 CoO 着色的纯蓝色效果，而是 CoO 与 Fe_2O_3 及 MnO_2 等着色剂混合着色的效果，因为混合着色时其色调呈现出更加素雅的蓝色。

(1) 唐、宋青花瓷　自从考古工作在扬州唐城遗址发掘出唐代青花瓷枕碎片[4]和在浙江金沙塔基发掘出北宋青花瓷片以来[5]，对我国青花瓷的起始年代有了新的认识。近年来，文化部文物局扬州培训中心在扬州唐城又采集到唐青花瓷片，经研究后更证实了扬州唐城遗址的唐青花瓷片为河南巩县窑所烧造的看法。其胎釉的化学分析结果与工艺性能与巩县白瓷的关系极为密切[6]。金沙塔基出土的青花瓷片乃是浙江当地制作的。

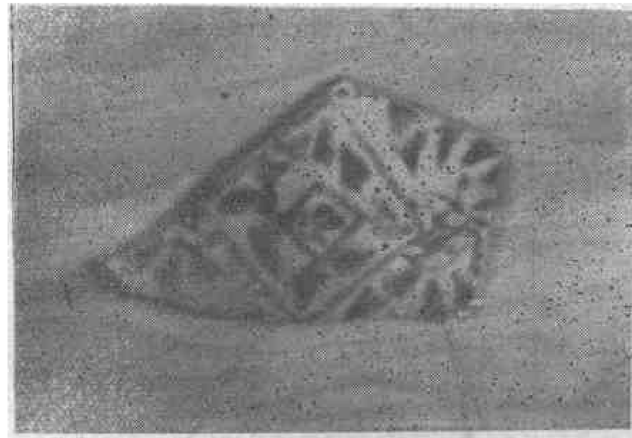


图 9-2　扬州唐城遗址出土青花瓷枕片照相

唐代青花瓷枕碎片的照相如图 9-2 所示。瓷片的胎色呈灰白，有烟熏色迹；釉透明，有细裂纹；青花彩为深蓝色，图案上散有黑点。近年发现的唐青花碎瓷片中的三片代表性样品的特征与前次发现的第一片十分相似，胎色亦呈灰白或灰中带黄，釉色亦白中泛黄，其胎的化学组成列于表 9-6 中。釉和青花的化学组成列于表 9-7 中。为了便于直接对比表中也列入了巩县白瓷胎和釉的化学组成。可见唐青花和巩县窑白瓷的胎釉是十分的接近。胎的含 Al_2O_3 量在 30% 左右，含 TiO_2 在 1% 左右；釉中熔剂含量也十分相近。它们的陶瓷性能十分接近，如气孔率在 6~9% 之间，烧成温度在 1200℃ 左右。这些都表明，早在唐代河南巩县已经制作青花瓷了，这类青花瓷所用色料与唐三彩的蓝彩所用原料相同，都是用低锰的钴矿。由此还可以推断，当时在巩县窑是将制作唐三彩的钴蓝色料彩绘在白瓷上而制成青花釉下彩瓷器，所制数量可能不多。激光显微光谱分析的测定结果也表明，色料中锰含量低，并含有少量 CuO，其量比景德镇元青花高，与河南唐三彩蓝釉中的 MnO/CoO 比和 CoO/CuO 比

表 9-6　唐代青花瓷胎的化学组成[7]

名称		氧化物含量 (m%)										备注
		SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MnO	总计	
青花瓷	T-1	63.81	28.71	0.83	0.83	0.47	2.27	0.44	0.93	<0.01		[7]
	T-2	61.19	30.95	1.41	0.66	0.55	2.41	0.55	1.58	—		
	T-3	64.17	29.48	1.14	0.55	0.43	2.23	0.47	0.94	—		
巩县白瓷	TG-1	63.35	30.51	1.06	0.33	0.42	2.15	0.47	1.47	0.02		
	TG-2	67.43	27.17	1.24	0.55	0.40	1.29	0.40	0.80	—		
	TG-3	63.20	30.62	1.00	0.48	0.48	2.37	0.72	1.18	—		

表 9-7 唐代青花瓷釉与"釉＋青花"的化学组成[7]

名称			SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MnO	CoO	CuO	总量
			氧化物含量 (m%)											
青花瓷	T-1	G*				14	1.4	2.7	1.8	0.88	0.09	0.01	0.01	
		W**				14	1.5	2.8	1.7	0.82	0.07	0.32	0.09	
	T-2	G								1.1	0.03			
		W					0.14			1.3	0.07	0.42		
	T-3	G				14.3	1.8	2.1	1.2	1.0	0.09			
		W				13.4	1.9	2.3	1.1	1.4	0.10	0.32	0.06	
巩县白瓷	TG-1		63.05	20.50	0.65	11.50	1.05	2.20	0.74	0.82	0.06		0.01	100.53
	TG-2					14.34	1.82	2.06	1.4	0.83	0.05			
	TG-3		65.55	14.50		11.23	1.69	2.25	0.69	0.74	0.06			96.71

* G—代表釉； ** W—代表"釉＋青花"

相近，由于唐青花釉的含钙量较高，约14%，高温下釉的粘度较小，加之釉层很薄，青花色料在高温下烧成时易于扩散，故唐青花的色料往往扩散到整个釉，在有色料部分，将釉层染成蓝色玻璃体。借助X-射线电子探针扫描检测Co、Fe、Mn元素在釉层中的分布表明，釉中色料着色部分的含锰量是低的，也说明唐代所用钴矿为低锰钴矿。扫描曲线示于图9-3。釉层中Mn元素沿釉厚度的分布变化很小，在青花部分的强度和白釉中的强度相等，这表明着色层中色料的Mn含量甚低。

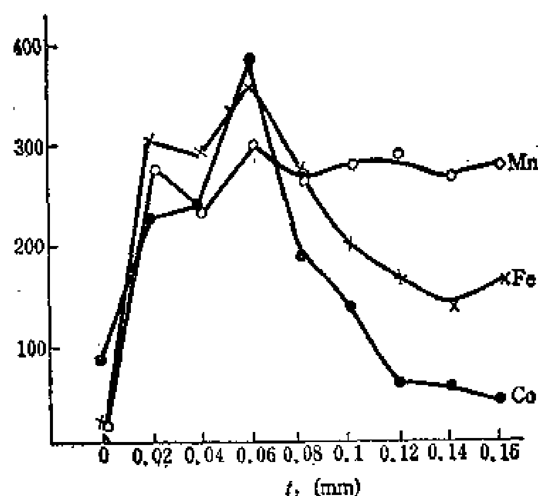


图9-3 唐青花釉层中Co、Fe、Mn的深度分布

早在1971年李汝宽先生曾对宋代青花瓷器进行了实物研究，阐述了其存在[8]。浙江北宋金沙塔塔基青花瓷片的出土证实了他的预言，这种青花瓷片胎有白色和灰白色两种，均烧结。青花暗蓝，不鲜艳。胎、釉和色料的化学组成列于表9-8。按分析计算出的MnO/CoO比约为10；FeO/CoO比约为0.6。该两比值与浙江江山出产的钴土矿色料的同样比值十分接近，故可以认为北宋青花在浙江是就地使用本省出产的钴矿作为色料生产的。瓷胎的组成与北宋青瓷胎相近；釉也十分接近青瓷釉的成分，足见当时浙江地区生产的青花瓷的质量是较差的。

表 9-8 浙江北宋青花瓷片的化学组成[9]

样品	分析部位	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CoO
		化学组成 (m%)									
S_3	釉	69.65	16.31	7.68	0.54	4.40	0.61	1.27		0.08	<0.01
	青花＋釉			7.25	0.60	3.99	0.56	1.23		1.14	0.10
	胎	74.07	18.24	0.29	0.11	4.87	0.67	1.62	0.01	0.03	

(2) 元代青花瓷　元代烧造青花瓷器已发现的有浙江江山、云南玉溪、江西景德镇和吉州等处。质量以景德镇为最高。浙江是继承宋代的工艺技术，利用本省出产的钴土矿作为颜料生产青花瓷的。景德镇地区是在当地宋代影青和卵白瓷的制作基础上发展起来的，在釉下彩绘的技术和艺术上受到过磁州窑的影响。元代青花瓷的胎、釉和色料的组成示于表9-9。景德镇地区元代青花瓷胎的 Al_2O_3 含量在 20% 左右，和元代影青白瓷的胎一样，在胎泥中，掺用了一部分高岭土，以减少大型制品的变形。瓷胎使用高岭土后，其烧成温度增高，因而瓷釉也必然要适应高温而相应减少釉灰的用量，使胎、釉达到适应和匹配。釉中 CaO 的含量一般在 8～10%。景德镇地区烧制的元青花瓷所用色料有含锰量低和含铁量高的特点。玉溪窑青花瓷瓷胎含 SiO_2 量高，含 Al_2O_3 量低，含 TiO_2 量也比一般青花瓷高，所用釉的含 CaO 量很高。其青花色料的含锰量高，含铁量略微高些。杭州至元墓葬出土的青花观音在胎、釉上和景德镇湖田窑烧造的青花瓷非常近似。

表 9-9　典型元青花瓷胎、釉和着色釉料的化学组成

出土地点	名称(产地)		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CoO	CuO	P_2O_5	总计	备注
			化学组成 (m%)													
景德镇地区	青花大盘(景德镇)	胎	72.75	20.24	0.24	0.15	2.87	1.78	0.93	0.53	0.08			0.04	99.61	[10]
		釉	69.53	14.87	8.97	0.3[illegible]	2.70	3.12	0.84	0.004	0.10	<0.01		0.12	100.56	
		青花加釉	68.05	15.22	8.78	0.39	2.74	3.14	1.73	0.007	0.09	0.37		0.14	100.66	
	湖田窑青花残片(景德镇)	胎	74.91	19.47	0.90	0.08	3.03	2.39	0.16	0.07					101.01	[11]
		釉	70.54	15.11	7.32	0.40	3.09	3.14	0.97	0.05	0.11	<0.01			100.73	
		青花加釉			5.82	0.43	3.12	3.11	3.60		0.12	0.63				
元大都	青花盘残片(景德镇)	胎	71.95	20.75	0.15	0.16	2.73	2.76	0.84	0.12	0.09			0.05	99.60	[9]
		釉	70.17	14.02	8.00	0.40	2.72	3.13	0.78		0.12			0.15	99.49	
		青花加釉			7.51	0.42	2.85	3.31	1.84		0.11	0.50	<0.01			
云南	青花盘残片(玉溪窑)	胎	80.76	15.52	0.01	0.32		0.13	0.94	1.35	<0.01				100.38	[11]
		釉	63.01	13.57	18.39	0.80	1.73	0.04	1.23	1.41	0.18				100.36	
		青花加釉			16.18	0.76	1.53	0.03	1.64		2.90	0.27				
杭州至元墓葬	青花观音残片	胎	74.62	18.75	0.28	0.18	2.80	2.42	1.17	0.17	0.06			0.29	100.74	[11]
		釉			9.65	0.62	2.76	3.58	2.11		0.05	<0.01				
		青花加釉			6.74	0.43	2.70	3.70	5.16		0.0[illegible]	0.09				

(3) 明代青花瓷　明代景德镇的瓷器生产突飞猛进，成为全国的瓷业中心。明代建立了御器厂专烧制宫廷用瓷。专派宦官监督烧造瓷器，对技术高的工匠、优质原料和产品均实行独占和专用。由于民间的大量需要，民窑制瓷业也有相当规模的发展。青花瓷器在明代成为主流产品。此外尚创造有青花与釉上彩组合成的著名的“斗彩”及继承元代的青花和釉

表 9-10 明代青花瓷胎、釉和着色釉料的化学组成[10]

名称		化学组成 (m%)											
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CoO	P_2O_5	总计
宣德青花大盘残片	胎	70.84	19.03	0.75	0.30	3.11	3.54	0.60	0.28	0.01			100.46
	釉	70.74	14.16	6.79	1.36	3.10	2.76	0.97		0.07			99.95
	青花加釉	68.94	15.35	5.93	0.97	3.16	2.84	2.17	痕量	0.25	0.24	CuO 0.025	99.93
成化青花残片	胎	73.66	21.24	0.12	0.15	3.12	0.60	0.59	0.09	0.02			99.49
	釉	71.14	15.12	4.46	0.28	5.68	1.88	0.82	0.11	0.10	<0.01	0.08	99.67
	青花加釉			4.10	0.26	5.48	1.84	1.14		0.44	0.19		
嘉靖青花残片	胎	73.38	18.49	1.21	0.18	3.30	1.00	1.24	0.19	0.49		0.04	99.51
	釉	66.95	14.80	11.62	0.38	3.47	1.71	0.93		0.09	0.007	0.60	100.56
	青花加釉	66.05	14.82	10.36	0.29	3.37	1.33	0.86		2.25	0.75	0.15	100.23
万历青花残片	胎	73.59	19.61	0.46	0.17	3.43	1.95	0.87	痕量	0.07			100.18
	釉	69.02	13.69	8.39	0.26	3.91	2.77	0.74					98.78
	青花加釉			6.95	0.25	3.76	2.78	0.98		2.22	0.28		
正德青花碗片	釉	68.88	15.09	7.87	0.30	5.37	1.63	0.81		0.13	0.005	0.19	100.28
	青花加釉			5.51	0.28	5.00	1.31	0.90		3.35	0.53		
嘉靖霁蓝瓷片	蓝釉	66.94	13.22	8.20	0.24	2.42	2.64	1.00		2.97	0.55		98.18
	胎	69.36	23.89	0.19	0.10	2.84	2.42	0.67	0.02	0.13		0.06	99.67

里红的混合釉下彩绘。

明代典型的青花瓷的胎、釉和着色釉料的化学组成列于表 9-10。

永乐和宣德青花瓷胎细釉润、彩色浓艳。所用着色青料是从伊斯兰地区进口的"苏麻离青"。这种青料的成分特点是含锰量低，含铁量高。宣德青花瓷胎和釉的成分大体与元代相仿，只是在制作技术上更精细。宣德青花一部分带黑斑和黑点，另一部分则不带黑点。黑点主要是青花绘画部分色浓聚集时，含高铁成分的色料在高温下形成的铁锈般的结晶层。成化到正德时期青花瓷胎薄釉白，青花色调淡雅。釉的钙含量低，钾含量较高，对瓷质的提高有一定好处。成化斗彩的烧制成功，也是在瓷器装饰上的一个创举。所谓"斗彩"，即图画的一部分彩饰青花釉下彩，另一部分以釉上彩绘完，两者组合为一体。嘉靖至万历青花瓷采用回青作为色料彩绘青花。回青与上高县出产的石子青按不同配比使用，据记载可产生不同色泽。《江西大志》(成书于 1558 年)有记载"回青淳，则色散而不收；石青多，则色沉而不亮，每两加石青一钱，谓之上青；四六分加，谓之中青；十分之一谓之混水……中青以设色，则笔路分明；上青用以混水则颜色明亮，真青混在坯上，如灰色；石青多，则黑。"万历中期以后则

* 回青为西域大青，捶碎有碌砂斑者谓上青，有银斑者谓中青。

用浙江产的钴矿，蓝中微带灰色色调。

(4) 明代民窑青花瓷　明代景德镇民窑青花瓷的质量和制作技艺均不及御窑生产的官用青花瓷。器形简单，绘画豪放自然，富于生活气息。除景德镇大量生产民间青花瓷外，云南玉溪窑等地亦生产民间青花瓷器。民窑青花瓷胎、釉化学组成列于表 9-11。民窑青花瓷胎和釉的成分与官窑青花瓷非常接近。而青花着色部分中着色元素 CoO、Fe_2O_3、MnO 的比

表 9-11　明代民窑青花瓷胎、釉及着色釉料化学组成[12]

名称		化学组成 (m%)											
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CoO	P_2O_5	总计
洪武碗残片	釉	70.57	15.20	7.27	0.22	4.80	1.19	0.78		0.08	<0.01		100.11
	釉加青花	66.27		5.63	0.22	4.39	1.25	1.29		3.74	0.61		
	胎	75.31	18.20	0.41	0.18	3.52	0.63	0.87		0.06	<0.01		100.63
永乐宣德碗残片	釉	67.98	15.21	13.28	0.30	2.76	0.09	0.86		0.06	0.28		100.54
	釉加青花			10.76	0.31	2.76	0.11	1.33		2.08			
	胎	76.03	19.17	0.53	0.26	3.26	0.14	1.04		0.03		0.06	100.52
成化碗残片	釉	70.38	14.22	8.08	0.24	5.09	1.48	0.92		0.11	0.01		100.24
	釉加青花			7.31	0.26	4.77	1.53	1.33		1.18	0.14		
	胎	75.33	20.64	0.54	0.31	4.08	0.14	1.66		0.06		0.07	100.30
嘉靖盘残片	釉	70.47	15.32	6.00	0.21	4.14	2.43	0.46		0.11	<0.01		99.05
	釉加青花			5.78	0.21	3.74	2.38	0.73		2.11	0.36		
	胎	77.63	18.99	0.39	0.22	3.36	1.60	0.76		0.04		0.02	100.71
万历碗残片	釉	72.20	14.18	7.54	0.12	4.08	2.38	0.50		0.11	<0.01		99.38
	釉加青花			5.95	0.17	3.88	2.61	0.56		1.73	0.33		
	胎	72.42	16.43	0.30	0.20	3.37	1.69	0.66	0.05	0.04		0.03	
崇祯碟残片	釉	70.09	14.09	7.59	0.13	3.44	1.57	0.27		0.07	0.01		99.37
	釉加青花			7.39	0.15	3.46	1.49	0.47		1.43	0.29		
	胎	72.80	21.69	1.02	0.18	3.51	0.95	0.74	0.05	0.06		0.04	100.67
云南玉溪窑青花	釉	63.50	11.68	13.96	2.04	2.43	0.06	1.52	1.02	0.45			96.66
	釉加青花			11.94	1.74	2.37	0.04	2.25		2.72	0.48		
	胎	80.59	14.99	0.01	0.43	2.09	0.15	0.97		<0.01			100.60

例与官窑青花不甚相同。明代民窑青花瓷使用的色料都是含 MnO 量高的钴矿原料。

(5) 清代青花　清代釉上彩瓷和各种色釉瓷都有很大发展，但青花瓷的生产仍占一定比重。特别是康熙青花瓷色彩鲜艳纯净，层次分明，独具风格。浓深浅淡不同层次的渲染完全是由于工匠运用色料的技巧，这类技法使青花画更接近和达到国画题材的表现手法。雍正和乾隆青花瓷不及康熙青花鲜艳，雍正仿明制品是十分成功的。表 9-12 列出了清代几种青花瓷胎、釉和着色釉料的化学组成。清代青花瓷胎含 Al_2O_3 的量比元、明青花瓷胎都高，从

表 9-12 清代青花瓷胎、釉和青花色料的化学组成[10]

名称		化学组成 (m%)											
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CoO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5	总计
康熙青花残片 C_1	胎	68.07	25.82	0.36	0.11	3.04	1.54		0.83		0.09	0.08	99.94
	釉	70.22	14.35	9.12	0.23	3.03	2.28	<0.01	0.79	0.11	0.13		100.34
	青花加釉			7.23	0.03	3.11	2.13	0.32	0.96		2.20		
康熙青花残片 C_2	胎	65.76	28.57	0.50	0.12	3.22	0.83		0.84	0.05	[illegible]	0.10	100.08
	釉	73.48	15.38	3.82	0.33	3.97	1.31	<0.05	0.96	0.34	0.14		99.35
	青花加釉			2.31	0.24	4.16	1.19	0.32	0.91		2.11		
雍正青花盘浆胎 C_4	胎	67.28	27.20	0.63	0.18	3.41	0.95		0.67	痕量	0.11		100.43
光绪青花碗 C_5	胎	68.93	24.25	0.74	0.20	3.38	1.78		0.84	0.1	痕量		100.31
乾隆青花残片 C_3	釉	76.09	14.39	2.11	0.14	2.67	2.61	0.05	0.92	0.25	0.27	0.08	99.58
	青花加釉			1.64	0.14	2.54	2.36	0.70	1.10	(NiO 0.05)	4.11	(CuO <0.01)	

含 Al_2O_3 量的数值估计要使用到一半左右的高岭土，釉含 CaO 量也低。清代青花瓷的烧成温度比元、明两代都高，在 1300°C 左右。

(6) 青花色料及使用　国产青花色料使用钴土矿，其产地在我国南方诸省分布颇广，云南、江西、浙江和福建等省均有出产。钴土矿是一种含 CoO、MnO_2 和 Fe_2O_3 的复合矿物。其钴含量很分散，变动在 2～9% 内，经过拣选处理可提高其含量，必须经过炼制加工方可用作绘画青花的色料，炼制的方法和程序为淘洗、煅烧、拣选和研细。

(i) 淘洗　以 15 kg 钴土矿为一批置于簸箕中，一起放入盛清水的木盆中，将木盆放在倾斜 15° 左右的长凳上，洗料者则坐于凳之一端，左手套四个铁手指套，右手套上三个指套，拇指与食指握瓷片，双手不停地将半浸于水中之钴矿料块向上捞起，用力向下搓洗。30～40 min 后将簸箕移出木盆，将污水倒出木盆，再将簸箕中之料移入木盆重新加水搓洗，经七、八次至不见混浊为止。

(ii) 煅烧　将洗净料装入匣钵中，满料后面上盖黄草纸一张，并以黄泥封没，装入窑中烟囱下掘深 20 cm 坑内，再以掘出之土覆盖其上，将土压平。烧好后将匣钵取出。估计煅烧温度在 1000～1100°C 之间。冷却后掀去钵面封泥，将煅烧好的料倒入木盆中，以筛孔为 1 mm 和 0.7 mm 筛过筛，遗留在筛上的料逐粒拣选，以色泽润、比重大、有花和发金属声者为上等料；以色暗淡、比重轻、花少音哑者为次等料。将上等料粗(1 mm 以上)细(0.7 mm 以上)两种各半舂碎研细即成上等青花色料。色料用瓷乳钵研磨，愈细愈好，一般研一个月方使用。通过 0.7 mm 筛的细料去除砂土与拣选剩余的余料混用作为次级青花色料。煅烧的作用是使夹杂的低钴矿易于分开和增大其脆性，便于加工研细。云南、浙江和江西出产的钴土矿的化学组成列于表 9-13。从化学组成可以看出各地钴矿中所含钴、锰、铁元素量的分散性很大。历代青花颜色的差别和变动与钴矿的分散性是有很大关系的。据文献记载和近年来的研究结果证实，明代官窑青花瓷在成化以前，部分使用进口青料作为着色剂；成化开始使用国产青花料作为着色剂，青料的产地在江西乐平县，青料称陂塘青，又名平等青。弘

表 9-13　国产青花色料的化学组成[10]

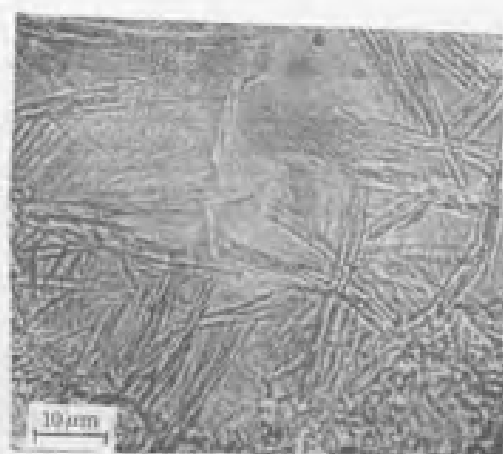
产地和名称	化学组成(m%)															
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	CoO	MnO	NiO	CuO	K_2O	Na_2O	BaO	As_2O_3	烧失	有效氧
云南钴土矿(原矿)	28.97	32.81	0.37	0.41	2.80	0.83	6.02	22.53		0.83	0.05	0.30			1.40	4.37
浙江钴土矿(原矿)	18.31	19.01	0.16	0.20	6.96	1.58	1.86	30.12	0.36	0.10			1.80		13.43	6.65
浙江江山青料	35.38	19.70	0.06	0.24	4.40		1.81	19.97	0.15			0.02		0.05		
云南宣威生青料	20.27	23.95	0.03	0.26	5.92		4.45	21.92	0.09			0.01		0.07		
江西上高生青料	21.18	17.58	0.05	0.14	5.38		4.15	29.87	0.34			0.01		0.04		
江西赣州钴土矿(又称"叫珠")	37.91	18.68	0.33	0.48	4.65		1.26	20.03	0.19	0.16	1.03	0.11	1.06		10.85	4.21
云南珠明料经拣煅	28.33	34.96	0.37	0.41	2.80	0.35	6.02	22.53		0.83	0.05	0.30			1.40	2.02

治、正德也使用平等青，然正德尚用瑞州产的无名子，亦称石子青。至嘉靖则使用以回青和石子青配合的青料。从青花瓷样品分析结果表明，成化使用国产料与高铁低锰料的混合料。正德、嘉靖色料接近浙江煅烧青料和拣炼的云南珠明料。万历初期使用回青为主的混合料，中期以后因回青来源断绝，才使用浙江产的青料。民间窑则都以使用国产钴矿作为着色青料。清代所制高级青花瓷多用浙江钴矿作为青料，清代青花瓷的烧成温度高，要求在高温下青花色料部分在釉中不流散和显现出明显的层次，则必需在青料中混以高岭使用。高岭使用后对青花色调也有影响。青花色料的着色效果除钴矿本身所含着色氧化物的量及比例之外，其它氧化物的含量多少、胎、釉组成和烧成温度及气氛也有一定影响，如高钙釉的高温粘度低，易促使青料部分流散；釉厚或釉的粘度太高，烧成温度不当则易产生"濛花"覆盖之感。近代景德镇使用云南产的上等青料，即所谓珠明料。据记载[13]清代乾隆时期用的云南珠明成分与浙江东阳所产钴土矿的成分相近。拣煅后其组成为：SiO_2 28.33%；Al_2O_3 34.96；Fe_2O_3 2.80；TiO_2 0.35；CaO 0.37%；MgO 0.41%；CoO 6.02%；CuO 0.83%；MnO 22.53%；K_2O 0.05%；Na_2O 0.30%；有效氧 2.02%；烧失 1.40%。

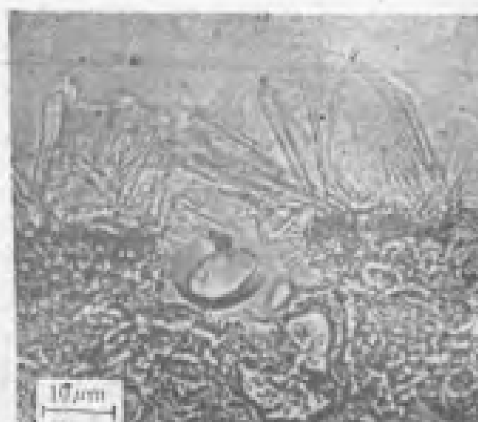
青花瓷胎的烧造地点和时期不同，其含 Al_2O_3 量也不相同。唐青花瓷胎含 Al_2O_3 量高，与北方各类瓷胎相近。宋青花瓷胎与浙江宋代青瓷胎相近，含 Al_2O_3 约在 18%；元、明两代瓷胎的含铝量稍高，可达 21%；清代瓷胎之 Al_2O_3 含量为 24～28%，表明在南方瓷胎中使用高岭的量逐代增加。釉的含钙量也相应随时代而逐代减低，表明釉灰使用量逐渐减少，釉果使用量渐增。清代比元、明和宋代青花瓷的烧成温度高。青花瓷釉有两种，一种为白釉，即釉中含铁量很低，釉的白度较高；另一种为近影青之青色釉，但比影青的色调更泛蓝青色，据分析釉中含 CoO 量为 0.01～0.06%，可能是多次浸釉过程中胎面上的色料落散入釉中所致，起到了釉和青花彩相衬托的效果。元、明、清几种典型青花瓷的显微照片示于图 9-4。釉层下均显示出有发育程度不同的钙长石层、青花料层和小晶层。

四、釉里红瓷

釉里红瓷器是指以铜的氧化物作为颜料，绘于瓷胎表面，施以透明釉，在高温还原焰中烧成的红色彩饰的釉下彩瓷器。釉里红是元代景德镇瓷工创造的一种名贵的釉下彩品种，由于铜在高温下易挥发和在釉中易扩散，釉里红瓷器在制作工艺上非常难控制，比青花瓷制



元青花大盘

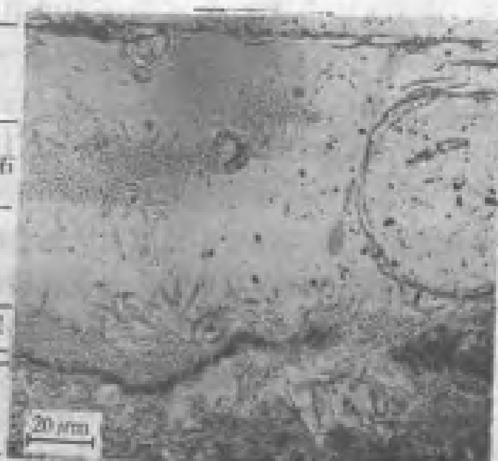


元大都青花瓷





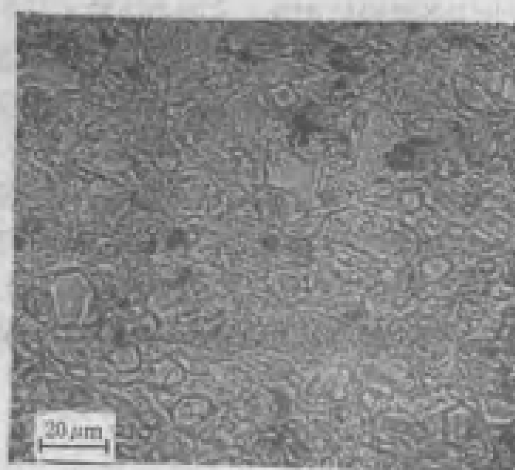
明成化青花瓷



明嘉靖青花瓷



康熙青花瓷



康熙青花瓷胎

图 9-4 元、明、清青花瓷的显微照相 583×（斜交偏光＋石膏板）

作的难度大，所以出土和传世遗留下来的釉里红瓷的件数不多。

绘制釉里红的颜料可用铜的氧化物作为着色原料制备，如用加热铜材所得的氧化表层，景德镇称为“铜花”，但其使用的浓度是十分关键的。和钴在青花釉中的浓度相仿，必须控制在釉中浓度为千分之几，而且铜花在制备颜料时要研磨到十分细，否则难以形成美丽的红色。烧成温度和气氛对釉里红的显色也有很大影响，温度过高铜全部挥发，温度过低则釉面发涩，红彩不能显现出亮红色。一般温度在1200℃至1250℃左右比较合宜。气氛上一定要控制还原焰，氧化气氛或还原不足，易使彩色发暗或发乌，这是由于部分高价铜未被充分还原的缘故。为了避免铜的挥发，烧成中高温阶段不宜经时过长，故烧成时的窑位选择也极有关系。

釉里红釉下彩瓷在元代由于技术不够成熟，多带灰色。明宣德时期已能制出鲜红色的成功产品，但多数颜色浅淡，主要是铜的浓度较低或烧成温度不适应所致。清代康熙和雍正时期的制作技术较高，已掌握了烧造技术，呈色基本稳定，特别是雍正釉里红瓷器呈鲜红色调，达到了很高水平。

元代开始利用釉里红和青花两种釉下彩相结合创制出了所谓“青花釉里红”的新品种。到康熙时期有了发展，直到乾隆时期仍有这种制品。两种釉下彩料彩饰在同一制品上要都能达到色彩鲜美，则是十分不容易的，所以青花釉里红釉下彩瓷器可说是技术难度最高的名贵瓷器。

釉里红釉下彩瓷器所用胎的成分和基釉的成分与青花瓷器的胎、釉成分十分接近，基本上可用同类胎和釉料配方。元、明时期胎的氧化铝含量不及清代高。

釉里红的白釉和红彩部分釉的成分基本相似。表9-14列出了永乐釉里红的胎、白釉和红釉各部位的化学组成。

表 9-14　明代永乐釉里红釉下彩瓷的化学组成[14]

部位		氧化物含量 (m%)									备注
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	CuO	总计	
胎		74.03	20.44	0.09	0.16	3.02	0.41	0.75		98.90	一般化学分析方法和探针分析的CuO含量相差较大，主要是电子探针分析的是小区域的成分。可能釉中铜的分布并不均匀。
红釉部位	化学法测	66.94	12.56	11.16	1.35	4.72	1.67	0.81	0.23	99.44	
	电子探针测	69.53	11.19	8.61	2.37	4.76	1.42	1.47	0.63	99.96	
白釉部位（电子探针测）		69.33	10.72	9.90	2.73	4.13	1.34	1.52	—	99.76	

永乐釉里红所用的基釉是高钙高钾质釉，因此釉既有较好的透明性，又有一定的高温粘度而不致流釉太厉害，能使保持较好的釉下彩作为基釉使用。釉面有细裂纹，看来钙的含量还偏高了一点。

总起来看，中国传统釉下彩瓷是利用钴、铁、铜和锰四种主要元素的着色效果和笔绘技巧装饰而发展的一类名瓷品种。由于它能与绘画艺术相结合，表达完美的艺术构思，发挥其得心应手的作用，自唐、宋以后逐渐发展成为我国名瓷的一个重要组成部分。特别是以钴为主着色的青花瓷和以铁为主着色的黑褐彩瓷，均取天然矿物作为色料，比较便于生产，故逐渐形成了大量生产的局面，并扩展到许多窑区。实际上，有许多是混合元素着色，如青花中有的钴土矿中锰的含量很高，有的则铁的含量高，因此中国的传统青花釉下彩所以有各种美

丽的色调，是钴、铁、锰元素不同比例混合着色的效果。又如长沙铜官窑的红褐彩不同于磁州窑的褐彩，也是因为在铁中掺杂有铜，故褐色中带有红的色调。因此，要仿制中国历代的各类釉下彩名瓷，在色料的配制上一定要掌握主着色元素和混合着色元素的含量和比例，方能达到效果，否则很难收效。釉的厚度对釉下彩瓷的质量也有一定影响，釉厚易使彩绘图案有濛混不够清澈的感觉，产生所谓"濛花"现象；釉薄则釉面不匀，有时会起"料刺"，即胎面上的玻璃釉的生成量少，釉中的不溶物增多，露在釉面似有刺的感觉。当然釉的类型也是有影响的，如灰釉量多，使釉色发青，如为长石釉则釉面白面光亮，表面有浮光，易失去传统瓷的素朴雅致的美感。古代釉下彩名瓷的仿制要达到逼真的程度是很不容易的，但只要掌握色料中各着色元素氧化物的比例、浓度、掺杂的矿物以及釉的成分和施釉厚度，烧成温度控制适当，也是可以成功的。

参 考 文 献

[1] 中国硅酸盐学会，《中国陶瓷史》，文物出版社，139页，(1982)

[2] 张志刚、郭演仪，"长沙铜官窑色釉和彩瓷的研究"，中国古代陶瓷科学技术第二届国际讨论会论文，北京

[3] 陈尧成，郭演仪、刘立忠，"历代磁州窑黑褐彩瓷的研究"，中国古代陶瓷科学技术第二届国际讨论会论文，北京

[4] 南京博物院等，《文物》4, 16(1977)

[5] 浙江省博物馆，《文物》4, 1(1980)

[6] 张志刚，罗宗真，郭演仪等，《中国陶瓷》3, 56(1984)

[7] 张志刚、郭演仪、陈尧成，"唐代青花瓷器的研讨"，(待发表)

[8] 1. Lee Yu-Kuan «preliminary study of Chinese Ceramics in Blue and White», TOKYO, (1971)
2. 李汝宽，《中国青花瓷器の源流》雄山閣出版，东京(1982)(井垣春雄译)

[9] 陈尧成、郭演仪、张志刚，"宋、元时代的青花瓷器"，考古，6, 544～548(1980)

[10] 陈尧成、郭演仪，张志刚，"《中国古陶瓷论文集》44～49，文物出版社(1982)

[11] 陈尧成，郭演仪，张志刚，"元代青花瓷器的研究"，中国陶瓷第4期55～63(1984)

[12] 张志刚等，"景德镇明代民间窑青花瓷器"，中国古代陶瓷科学技术第二届国际讨论会论文，北京

[13] 蓝浦，景德镇陶录，卷一，洗料。景德镇历代窑考，清嘉庆二十年(1815年)

[14] 李国桢，刘泽璃、郭演仪，"明、清景德镇铜红釉的研究"，中国古代陶瓷科学技术第二届国际讨论会论文，北京

第十章 陶瓷釉上彩

OVERGLAZE COLORS

釉上彩瓷是借合成的低温陶瓷彩料在已烧好的陶瓷产品的釉面上进行加彩装饰的陶瓷产品。它的发展与新石器时期的彩陶、汉代的绿釉陶、唐代的三彩釉陶和宋、元时期的釉下彩瓷以及元、明时期的琉璃、珐华器等均有不可分割的联系。这些釉上彩装饰技术为推动明、清时期景德镇彩瓷(包括釉下彩和斗彩)的日益发展奠定了良好的基础。

景德镇明、清时期的彩瓷基本上分釉下、釉上和斗彩三大类，它是将我国传统的绘画技法运用到瓷器产品上来的新工艺。彩瓷将景德镇白瓷与绘画紧密结合，充分展现了其艺术效果为我国陶瓷打入世界市场作出了巨大的贡献，所以说彩瓷的出现是我国陶瓷发展史上一个重要的里程碑。

传统釉上彩是彩瓷中的重要组成部分，明代景德镇彩瓷兴起的重要原因之一，是由于明初白瓷质量不断提高的结果。永乐(公元1403～1424年)和宣德(公元1426～1435年)年间以釉下彩(青花和釉里红)居多；成化(公元1465～1487年)年间始发展为斗彩，即构成一种采用釉下青花与釉上彩相结合的彩瓷工艺；嘉靖(公元1522～1566年)和万历(公元1573～1620年)时期，在成化斗彩的基础上又创制了五彩瓷器。这一时期的彩瓷并非单纯的釉上五彩，而是以青花作为一种彩色与红、绿、黄等多种釉上彩色相结合的五彩瓷器，常称为“青花五彩”。到了清代，景德镇的釉上彩在明代的基础上又有更多的创新，装饰色彩更加丰富，如五彩、珐琅彩、粉彩、斗彩等，特别是清初康熙、雍正、乾隆时期的釉上彩瓷，不仅彩色鲜艳光亮，装饰艺术性强，而且将我国传统精细白瓷引向高度艺术化的境地，在我国陶瓷史上闪耀着灿烂的光辉。

一、釉上五彩

釉上五彩又称“硬彩”或“古彩”，它是在唐三彩、宋三彩等低温颜色釉的基础上发展起来的。它始于明代，盛于明嘉靖、万历和清初康熙年间，常用的彩料颜色有红、黄、蓝、绿、紫、黑等色，所用彩料多为天然矿物，主要含Fe、Co、Cu、Mn等呈色元素。此时的“五彩”是指单纯的釉上彩而言，但嘉靖、万历时的五彩则多是以釉下青花作为一种蓝色与多种釉上彩色(黄、红、绿等)相混用而形成的青花五彩。由于青花五彩瓷器的釉下青花并不占主要地位，故这一时期的彩瓷习惯上仍称为“釉上五彩”或“大明五彩”。至于清初康熙生产的五彩瓷乃是完全的釉上五彩，这时已发明了釉上蓝色和黑色的颜料，色彩较明代增多，改变了明代釉下、釉上相结合的装饰方式，颜色的品种、质量以及彩绘效果较明代有明显的改进。

清康熙五彩不仅有五种彩色，常用的基本彩料有红、黄、蓝、绿、紫、黑、金等色，实际彩绘时则利用这几种基本色料调配出各种深、浅、浓、淡的色调以满足彩绘的需要。现就这几种基本的色料分述于下：

1. 红色彩料

在明、清时期主要是"矾红"，它以青矾或称绿矾($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)作为原料，经过拣选、晒干、煅烧、漂洗等过程制备而成。用时加适量铅粉和胶予以调和，彩绘在瓷器釉面上后，置于烤花炉中烤烧，即可得到鲜艳的红色色彩。值得注意的是颜料的烤花温度不可过高或过低，否则均不易达到较理想的色调，目前景德镇实际使用的五彩的烤花温度为800～850℃。

2. 黄色彩料

明代与清初康熙时期所用的黄色彩料，根据文献记载[1]及用光谱分析测定，其主要着色元素是铁(Fe)，化学组成中其主要元素是硅(Si)，主要的熔剂元素是铅(Pb)和钾(K)，由此得知其熔剂是由Pb-K-Si组成的玻璃质，即由石英、铅粉和牙硝等原料组成，着色剂有可能掺入少量的赭石或矾红，通常称为"铁黄"彩料。

3. 蓝色彩料

釉上蓝色彩料是在我国著名的唐三彩蓝釉的基础上发展起来的。无论是蓝彩和蓝釉都是以钴离子(Co^{2+})着色，它在釉(或玻璃)中一般不变价，着色能力强且着色稳定。根据文献记载[1]和光谱分析测定，釉上蓝彩是以钴土矿的钴为着色剂与$PbO-K_2O-SiO_2$系统为基的低温铅釉合成制备的。由于钴土矿产地不同，其化学组成中的钴含量也有较大的差别，有时还含有铁和锰的氧化物，因而经过烤烧后所呈色调也有所不同。

4. 绿色彩料

我国汉代的绿铅釉和唐三彩中的绿铅釉都以铜为着色元素，明、清的釉上绿色彩料也是在汉、唐绿铅釉基础上发展起来的，康熙釉上绿彩用光谱分析测定证明它是以$PbO-K_2O-SiO_2$系统的低温铅釉为基础，以铜为着色元素形成的，不同于汉、唐时期的$PbO-SiO_2$低温铅釉。众所周知，铜(Cu)常以高价的Cu^{2+}离子存在于铅釉中，在红外光谱部分有强烈的吸收，通常呈绿色。若釉中的K_2O或Na_2O含量增加时，其呈色可由绿色转变为青绿，甚至变为蓝色，故在R_2O含量较低的铅釉和色料中Cu^{2+}呈绿色。

5. 紫色彩料

釉上五彩中紫色彩料是在明代中期以后的"素三彩釉"基础上发展而成的，清康熙时期作为釉上彩料来装饰瓷器。根据资料[1]，明代"素三彩"的紫釉是以锰、钴为着色元素制成的，到康熙时期的珐琅彩和现代生产的古紫中的紫彩则以金(Au)、钴(Co)和锰(Mn)为主要元素着色。由此可见各类紫色彩料都是以锰作为主要呈色元素。因制作紫色彩料时使用钴土矿中的叫珠子作为原料，它是一种含锰量较高(约20%)的着色原料。当形成色料后，由于二价锰离子(Mn^{2+})在低温铅釉中吸收可见光中的紫色较蓝色多，故易使色料呈现紫色。

釉上五彩除上述五种基本彩色外，在康熙五彩中还有黑色彩料和金色的装饰。黑色是用"叫珠子"与"铜末"配制而成的，其主要着色元素为铁、锰、钴、铜。金色彩料称金粉，又称本金，据资料所载[2]：金粉的制备是将金子磨细，与橡胶水调和，然后掺入铅粉，金子与铅粉的配比为30:3。制备好的金粉彩料用笔直接描绘在瓷器表面，于850℃左右彩烧，即形成釉上金色装饰，然后用玛瑙棒、没有棱角的石英砂或稻壳等磨擦表面，使表面呈现发光为止。但这种描绘金彩的工艺方法很复杂，耗金量太大，成本过高，迄今已逐渐被淘汰。釉上五彩的画法，无论是花卉还是人物等画面图案，均系单线平涂。此种画法虽然线条刚劲有力，画面古朴雅致，但与以后发展的珐琅彩和粉彩相比立体感和真实感较差，故这种装饰技法清代后期已逐渐减少。

总之，釉上五彩的装饰技法在明代中期至清初康熙时期曾风靡一时，至雍正、乾隆时期已逐渐减少，但在我国彩瓷的发展过程中曾占有重要的地位，为以后彩瓷的发展，特别是珐琅彩和粉彩的出现奠定了良好的基础。

二、珐琅彩

珐琅彩瓷创始于清康熙年间，珐琅彩绘是在明代"景泰蓝"制作工艺的影响下移植、演化而成的彩瓷装饰技术。珐琅彩瓷是清代康熙、雍正、乾隆时期宫廷名贵御器的一种，俗称"古月轩"瓷器，又称"瓷胎画珐琅器"。康熙末年，为了制得精美的珐琅彩瓷，所有各种彩料均从西方国家进口，彩料品种十分丰富，色泽也极鲜艳，有黄、蓝、绿、紫、胭脂红、粉红、白、黑等色。对康熙珐琅彩用光谱定性分析测定表明：

1．清康熙珐琅彩化学组成中的主要熔剂与我国传统的低温色釉和釉上五彩完全不同，以往的低温色釉和五彩采用 $PbO-SiO_2$ 系统和 $PbO-K_2O-SiO_2$ 系统的若干组成，而珐琅彩则以 $PbO-B_2O_3-SiO_2$ 系统的组成为基料，故其釉彩的呈色具有鲜艳光润之感。

2．胭脂红又名金红，它是以胶体金粒子悬浮于铅硼熔剂中制备的。由于对光有选择性吸收，其呈色略带紫红，极似胭脂，故又称胭脂红。我国釉上红色颜料在康熙以前只有铁红一种，自 1682 年（康熙 20 年）胭脂红从西洋传入景德镇后又称"洋红"，它对我国扩大釉上红彩品种起着积极的作用。

3．珐琅彩的黄色颜料是以锑作为着色剂。在康熙以前均系铁黄，虽然均为黄色，但两者的色调显然不同。

4．康熙珐琅彩的白色彩料中有一定量的砷（As）作为乳浊剂，形成一种低温乳白玻璃，景德镇称为"玻璃白"，它即为珐琅彩的白色彩料。这种白色彩料在明代的青花五彩和康熙五彩中都是没有的，它是在 $PbO-K_2O-SiO_2$ 釉的组成中引入 As_2O_3（作为乳浊剂）制成的，这类乳浊剂为以后粉彩的发展起着重要的作用。

自康熙年间珐琅彩出现以后，不仅为釉上彩提供了许多新的彩料，而且在彩绘技术和装饰效果上也有新的突破。最初，珐琅彩首先使用在宜兴紫砂胎上彩饰，以后又用于素烧过的白瓷胎上进行各种花卉图案彩饰，虽然增强了纹饰的立体感，但仍有粗糙的感觉。到了雍正时期，珐琅彩瓷的制作更趋精致，大部分用宫廷的库存和景德镇烧好的脱胎白瓷，在宫廷利用外来的珐琅料进行精工彩绘而成的。参与彩绘者均系著名画家，他们将我国传统的绘画技法与瓷器装饰紧密结合起来，制成了许多极为精美的艺术珍品。乾隆时期，在雍正珐琅彩瓷的基础上画面题材更加丰富，除以山水、花卉和人物为题材外，还仿制了不少有西洋画意的瓷器。雍正和乾隆时期制作的珐琅彩瓷器完全由清代宫廷所垄断，产量不多，总计不到一千件。这种引自西方彩料装饰的彩绘技术，使明、清彩瓷由单线平涂的五彩传统绘画技法转向使产品上的花纹更加凸起，层次清晰，浓淡分明、颜色鲜艳夺目、画面生动逼真，使装饰更趋于立体感和美术化。珐琅彩不仅为景德镇粉彩瓷器的发展和生产创造了条件，在我国彩瓷技术领域中也是一个新的突破，产生了极其深远的影响。

三、粉彩

景德镇的粉彩瓷器是在明、清五彩瓷器的基础上和珐琅彩瓷的影响下创制出的一种具有独特风格的彩瓷产品，自清代至今，它一直是我国彩瓷产品装饰的主流。

粉彩瓷器在雍正、乾隆年间已形成一种独立的瓷器品种，由于不断改进，无论在彩料的品种、彩烧工艺以及产品质量等方面，较之五彩、珐琅彩均有新的创造和发展。但到了乾隆后期，由于封建制度的衰落，特别是鸦片战争后帝国主义的入侵，粉彩瓷虽继续生产，却大有江河日下之势。

粉彩颜料是我国劳动人民在珐琅彩的启发和影响下经过不断地探索和研制而创造成的一类色料，其化学组成基本上也是用 $PbO-K_2O-SiO_2$ 低温玻璃(釉)掺入一定量的金属氧化物作为着色剂配制而成的，值得注意的是它借鉴了珐琅彩的制法在白色彩料(玻璃白)中引入了砷(As)作为乳浊元素。用这种白料与其他色料配合，使各种色料都含有一定量的乳浊剂。当画面经 750°C 左右烧烤后，其乳浊效果给人以“粉”的感觉，故被后人称为粉彩[3]。因此，粉彩并非因彩料中含有铅粉或其他粉料成分而得名[4]，粉彩的特点除有立体、粉润、清逸之感外，还具有色彩丰富、光泽晶莹、画面更富于国画传统风格的特点。粉彩的产生使技术方法的改进与美术效果结合得更加紧密，形成了我国彩瓷发展过程中彩饰方法上的伟大创举。

粉彩与五彩相比风格截然不同，在制造技术方面，作者于 1954 年参与景德镇粉彩技术总结时得出[5]，粉彩与五彩的基本熔剂和基本彩料的制备方法大致相同，不同的是在粉彩的色料中调和了含砷的乳白玻璃作为乳浊色料，在色料的调配和画法上两者均有显著的差别，彩烧温度上五彩也较粉彩为高，当时所用的主要原料的化学组成、熔剂、基本彩料和混合彩料的配方分别列于表 9-1～表 9-4。

中国科学院上海硅酸盐研究所对我国清代釉上彩光谱定性分析结果[1]与法国陶瓷博物馆和采矿学院对中国釉上彩料的样品进行化学分析的结果[6]分别列于表 9-5～表 9-6。

四、斗彩

据《南窑笔记》记载，“凡是釉下青花和釉上彩拼斗成完整图案的称为彩斗”。它始于明代成化年间，其装饰方法是先在釉下青花坯体上勾画成轮廓线，待瓷器烧成后再在釉面上的青花轮廓线内施以各种釉上彩料。虽然斗彩也用青花五彩的画法，但它与明嘉靖、万历时期的青花五彩瓷器明显不同。成化斗彩是以釉下青花构成整个图案，在装饰上作为决定性的主色，再结合釉上着色而成；而青花五彩在整个图案中并不以青花作为主要色彩，仅将青花用作构成整个画面的一种颜色进行装饰[7]。

清康熙时期虽仿制过斗彩瓷器，但多数产品不及成化时精致，至雍正时期，所仿制的斗彩瓷器非常成功，它还引用了胭脂红(洋红)等新的色料，增加了色彩品种，同时在画法上和制作工艺上也有不少的改进和创新。从清末至今，这一类精致名贵的斗彩产品虽仍继续制造生产，但与成化、雍正时期相比工艺上却无所创新。

成化时期的斗彩瓷器的质量之所以高，首先与胎釉化学组成和使用的原料有密切关系。根据刘新园、白焜的“高岭土史考”一文所载[8]，景德镇在元代和明代中期以前，官窑白瓷的瓷胎中已引入高岭土，改为二元配方(即以瓷石与高岭土配制瓷胎)，这类高岭土在十四世纪时在景德镇称为“御土”，十五、十六世纪称“官土”或“麻仓土*”。明代万历十一年间，麻仓老土已告枯竭，因此嘉靖、万历时期已不使用这类质量较高的麻仓土，而是改用该矿区另一处的高岭土，瓷质不及成化以前。如成化时期青花瓷的瓷胎的化学组成中含 Fe_2O_3 量最

* 所谓麻仓土即在景德镇山矿区麻石坳等处所产的一种高岭土。

表 9-1　现代景德镇釉上彩的配方——部分主要原料的化学组成

名称	产地或来源	外观	化学组成 (m%) SiO₂	TiO₂	SnO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	K₂O	Na₂O	CaO	MgO	P₂O₅	BaO	MnO	CoO	CuO	As₂O₃	PbO	灼减	总量	备注
石末(石英)	景德镇	黄白色球块状	98.57			0.56	0.11	0.06	0.07	0.44	0.19								0.28	100.28	
赭石	江西卢山	赭红色硬块状	39.82	0.47		9.38	38.84	2.11	0.36	0.40	0.71	0.07	1.94	0.04					5.60	99.74	S 0.52%
珠明料(钴土矿)	云南宣威	灰黑色块状	25.36			35.21	2.51			0.24	0.05		0.07	29.71 (MnO_2)	6.02	1.21			0.68	101.06	
叫珠(钴土矿)	江西赣州	黑色硬块状	37.91	痕量		18.68	4.65	1.03	0.11	0.33	0.48		1.06	20.03	1.26	0.16			10.85	96.55	
铜花	北京	灰黑色片状	1.40			[illegible].28 (R_2O_3)				0.18	0.24					96.6 (Cu_2O 78.61; CuO 9.42; Cl 2.54)				99.70	水分 2.22% C 0.31% 酸不溶物 2.22%
青矾	上海	绿色结晶					25.59							0.06					68.03	93.68	SO_3 32.29% 酸不溶物 0.22%
铅粉(铅白)	广东佛山镇	白色粉末																72.54 (Pb)			$Pb(OH)_2·2PbCO_3$ 99.26% 水分 1.61%
牙硝(硝酸钾)	上海	白色结晶						45.65													KNO_3 98.02%
信石(白信石)	湖南	白色块状															99.93				
窗玻璃			70.46			2.08	0.45	1.17	13.82	7.59	3.54	0.04	0.20							99.3[illegible]	
洋红晶料			51					5.4	0.3	0.2	0.1							45		102	根据配方计算而得
锡灰		深灰色块状	0.42		20.00				0.06	0.15								78.98		99.61	

表 9-2　现代景德镇釉上彩的配方[5]——熔剂

名称	原料（%）							
	铅晶料（广铅）	石英粉（石头）	硝酸钾（牙硝）	窗玻璃粉	白信石	铅粉	铅末甲	主要着色元素
铅末甲	52.6	39.5	7.9					—
铅末乙	51.3	41.0	7.7					—
洋红晶料			4.7	1.7			93.9	—
玻璃白			3.4	1.8	3.4		91.5	As
雪白		22.3				77.7		—

表 9-3　现代景德镇釉上彩的配方——基本彩料

名称	原料（%）																	
	铅末甲	铅末乙	铅粉	洋红晶料	硝酸钾（牙硝）	白信石	氧化钴	氧化铜	锡灰	纹银	硝酸	金	王水	茶料	石末	铅白（青铅）	重铬酸钾	氧化铁	主要着色元素
广翠	87.9		4.4		4.4		3.3												Co
翡翠		88.9			3.3	3.3		4.5											Cu、As
锡黄		87							13										Sn
茶料				98						2	适量								Ag
顶红				500g								3.125～6.25 g	适量	93.75～187.5g					Au
矾红			适量															100	Fe
大绿					5.8			5.8				11.5（窗玻璃粉）			38.5	38.5			Cu
老黄					7.0			（铜花）							46.4	46.4	0.2		Cr

低，为 0.59%。釉面质量也较高，这与当时所用原料均进行严格和细致的选择和精制有密切关系。如成化青花瓷的白釉中 Fe_2O_3 的含量为 0.82%，CaO 的含量为 4.46%，较元代和明代宣德、嘉靖时期釉内的铁、钙含量均低，说明成化瓷器对于釉料的选择和控制也是极其严格的。当时，釉料中引入釉灰的量比较少，这样在还原气氛中烧成时，釉中的 FeO 溶解于釉较少，故成化瓷器的釉色有洁白如玉的独特美感。

五、高温釉上彩

高温釉上彩是指在釉表面上用着色彩料彩绘装饰后，在高温下烧成的彩瓷。通常，传统的釉上彩多指那些由含铅低温色料彩绘后，在 800°C 下烧成的彩瓷。实际上，在古代并不使用含铅系统的彩料，而是用像釉下彩用的那些天然矿物作为彩料，经釉上彩饰后，于高温下烧成。例如，磁州窑有一种黑褐色釉上彩，实际用的彩料与釉下彩是同一种原料，只是彩饰在釉上而已，以这种彩料彩绘在生釉上，一次烧成即可成功。这种装饰方法与古代彩陶的装饰方法十分类似，其差别是，彩陶是将彩料绘在陶胎表面或在陶胎上以白色粘土质彩料涂敷表面层，然后在这层类似于瓷器化妆土的白色层上绘以黑色或褐红色彩料；而高温釉上彩是装饰在釉的表面。传统的高温釉上彩也有将黑褐彩料彩饰在青瓷釉面上的，一般说，这类高温釉上彩的色调都比较单调，大都用一种颜色装饰。由于在高温下烧成，高温釉上彩的彩料多较深地向釉内扩散，比低温釉上彩牢固得多。但是，由于有些着色元素在高温下易于在釉表面上挥发，不易存留在釉表面，难以在工艺上稳定控制，以致使高温釉上彩彩料的种类很

表 9-4 现代景德镇釉上彩的配方——混合彩料

名称	原										料									主要着色元素
	铅粉	石末	雪白	玻璃白	铜花	老黄	锡黄	净*黄	矾红	顶红	古大绿	大绿	粉大绿	净**大绿	苦绿	翡翠	粉翡翠	广翠	珐琅料	
(一)古彩																				
古大绿	68.8	22.8			5.6	2.8														Cu
古淡大绿			50								50									Cu
古苦绿			56.6			18.9			0.9		23.6									Cu、Cr
古淡水绿			94.2								5.8									Cu
古深水绿			88.9								11.1									Cu
古翠			82.8								3.5							13.7		Cu、Co
古黄			79.2			19.8			1.0											Cr、Fe
古紫			93.8							5.2									1.0	Au、Co
(二)粉彩																				
苦绿	27.3					59.1						13.6								Cu、Cr
粉苦绿			16.8								5.5				77.7					Cu、Cr
粉翡翠			5.6	5.6												88.8				Cu、As
粉大绿			13.0								17.3	69.7								Cu
墨绿			59.7										37.3						3.0	Cu、Co
松绿			13.2	8.8			33.9									44.1				Cu、As、Sn
石头绿			23.1									76.9								Cu
淡翡翠				20													80			Cu、As
淡古翠			66.7															33.3		Co
粉淡水绿			85									15								Cu
粉淡苦绿			75.8												24.2					Cu
净苦绿								46.2						53.8						Cu、Cr

* 未加铅粉的老黄； ** 未加铅粉的大绿

少，故这类高温釉上彩的装饰方法后来并没有得到更大的发展。

明、清五彩是在唐三彩、宋三彩、素三彩等低温彩釉的基础上发展起来的，其着色元素(铁、钴、铜、锰)大致相同，所不同的是低温颜色釉的基础釉为 $PbO\text{-}SiO_2$ 系统，五彩的熔剂是 $PbO\text{-}K_2O\text{-}SiO_2$ 系统，因此前者烧成温度较高(900～950°C)，后者为 800～850°C，但后者含有折射率较高的 K_2O，故烧后的釉彩光泽较好，给人以宝石的美感。

清代珐琅彩的化学组成与五彩相比有显著差别，它的熔剂由 $PbO\text{-}B_2O_3\text{-}SiO_2$ 系统所组成。由于 B_2O_3 是以硼氧四面体 $[BO_4]$ 的结构形成玻璃质，在此起助熔作用，既增加釉的玻璃感，同时又增加釉的折射率，改善釉的光泽、降低釉的膨胀系数，特别在釉的呈色方面与五彩相比差别极明显。此外，珐琅彩又从西方引进金红(洋红)或胭脂红、玻璃白等釉彩，对以后扩大釉上彩料的品种起到了良好的作用。

粉彩与珐琅彩相比，尽管粉彩是在五彩和珐琅彩的基础上发展起来的新品种，大多吸收珐琅彩的装饰彩绘技法，但从其彩料的化学组成来看还是有较大的差别。雍正、乾隆时期，景德镇生产的粉彩，其色料中熔剂的组成未用硼或硼的化合物，而仍为 $PbO\text{-}K_2O\text{-}SiO_2$ 系统，所有着色原料也都采用国内的天然矿物配制而成。虽然其装饰方法与珐琅彩有相同之处，但在彩料的呈色方面与珐琅彩还存有一定的差别。

总之，我国明、清时期除上述四类主要彩瓷外，釉上彩瓷的品种十分繁多，诸如明洪武时

表9-5　清代釉上彩的光谱定性分析结果

名称		主元	大量	少量	微量	着色元素	主要溶剂
清康熙五彩	蓝彩	Si	Al、Ca、Pb、Na	Fe、K	Mg、Co、Mn Ti、Li、Bi、Cu Sn、Ni、Ba、Sr、Ga、Ag	Co	Pb K
	黑彩	Si	Al、Na、K、Pb、Ca	Fe	Mg、Li、Co、Mn Ti、Bi、B、Cu Ni、Sn、Cr、Ga、Ag、Be	Fe、Co、Mn Cu	Pb、K
清康熙青花五彩	底釉	Si	Al、Ca、Na	Fe、K	Pb、Mg、Mn B、Co、Cu、Ti、Li Ni、Sr、Ba、Ga、Sn	—	Ca
	黄彩	Si	Al、Ca、Na、Pb	Fe、K	Mg Mn、Ti、B、Li、Co Ni、Ag、Cu、Sr、Ba、Ga	Fe	Pb K
	蓝彩	Si	Al、Pb、Na、Ca	Mn、Fe、K	Co、Mg、Li Ti、Ni、B Ga、Cu、Ag、Be、Ba、Sr、Sn	Co	Pb K
	绿彩	Si	Al、Pb、Ca、Na	Fe、Cu、K	Mg、Mn Co、Sn、Ti、B Ni、Ag、Ba、Sr、Ga	Cu	Pb K
	矾红彩	Si	Al、Ca、Na	Fe、Pb	Mg、Mn Ti、Li、Co Ni、Cr、Ba、Sr、Cu、Ga、Ag	Fe	Pb
清康熙珐琅彩	里釉	Si	Al、Ca	Na、K、Fe	Mn、Mg、B Ti、Pb Cu、Ga	—	Ca
	黄彩	Si	Al、Pb	Ca、Na、K、Fe、Sn、B	Mn、Mg、Sb Cu、Ti Na、Ga、Ag、Be	Sb	Pb B
	蓝彩	Si	Al、B	Ca、Na、Fe、Pb、Co、As	Mg、Mn Cu、Ti、Ni、Bi Ag、V、Sr、Ba、Sn、Ga	Co	B Pb

续表

名称		主量	大量	少量	微量	着色元素	主要熔剂
清康熙珐琅彩	绿彩	Si	Al、Pb	Ca、Na、Cu、Sn、B、Fe	Mg、Mn、Sb、Co Ni Ag、Be	Cu Sb	Pb B
	紫彩	Si	Al、B	Fe、Ca、Na、Pb、As、Co	Mn、Mg、Au Ti、Cu、Bi、Ni、Sn、Li Ba、Sr、Ag、Be	Co Au	B Pb
	胭脂红	Si	Al、B	Fe、Ca、Na、K、Pb、As、Au	Mn、Mg、Li Cu、Ti Ga、Ni、Sn、Co、Cr、Sr、 Ba、Ag	Au	B Pb
	粉红	Si	Al、B	Fe、Ca、Na、K、Pb、As	Mg、Mn、Au、Li Bi、Cu、Sn、Ti V、Ni、Ga、Co、Cr、Ba、Sr Ag	Au	B Pb
	白彩	Si	Al、Na	K、As、Pb、B	Ca、Fe、Mg Mn、Li、Cu Ti、Sn	As	Pb B
清康熙珐琅彩	黑线条	Si	Al、Ca、Pb		Fe、Mn、Mg、Na Cu、Co、Sn、B Ni	Fe、Co、Mn Cu	Ca
清雍正粉彩	粉红	Si	Al、Ca	K、Na、Pb	Fe、Mg、Au As、Mn、Ti	Au	Pb, K
	蓝彩	Si	Al、Ca	K、Na、Pb	Co、Fe、Mg As、Mn、Ti	Co	Pb, K
	青绿彩	Si	Al、Ca	K、Na、Pb	Cu、Fe、Mg Sb、Mn、Ti、As	Cu Sb	Pb, K
	黄彩	Si	Al	Pb	Sn、Mg、Sb、Fe、Na、Ca Cu、Mn B、Ti、Ni、Ba、Ga	Sb	Pb
	黄绿彩	Si	Al、Ca	K、Na、Pb	Fe、Cu、Sn、Mg Sb、As、Mn、Ti	Cu Sb	Pb, K

表 9-6　十九世纪中叶中国釉上彩料的化学组成

名　　称	SiO_2	PbO	砷酸	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CoO	Sb_2O_3	CuO	CaO	MgO	[illegible]	Au	[illegible]	[illegible]	总量
矾红料([illegible])	3.90					痕量	95.00					痕迹	[illegible]	1.00			0.10	100.00
矾红料(生红)	3.12					3.00	92.14					痕迹	[illegible]	1.20			0.54	100.00
蓝色料	48.21	32.84		13.78		0.06	1.63	0.50	1.50		1.00	0.97	[illegible]				0.00	100.49
蓝色料	46.40	30.89		13.20		0.15	1.50	0.62	1.60		0.96	0.85	[illegible]				3.80	99.97
蓝色料	38.81	44.14		11.10		0.50	1.03	1.00	0.68		0.50	0.83	[illegible]				0.65	99.24
蓝色料	37.20	42.18		13.39		0.50	1.06	1.00	0.50		0.15	0.61	[illegible]				2.40	99.02
黄色料(生黄)	40.47	51.53		3.39	0.71	痕量				3.66 ([illegible])	0.35	0.17		1.13				101.33
绿色料(翡翠)	37.50	44.13	4.00	10.00		痕量					3.00	0.25					0.50	99.38
(苦兰)	41.50	43.40	7.33			0.86					2.40	2.11					2.40	100.00
(山绿)	42.44	43.40	6.49			1.26					3.41	2.00					1.00	100.00
(粉绿)	36.80	51.04	0.50	4.23		1.12				2.01	0.51	1.74	0.05				2.50	100.50
(淡绿,带黄色)(生山绿)	41.20	49.05		3.96	0.60	0.17	0.05				5.05	0.12		0.46				100.87
头等白色料(玻璃白)	37.00	44.39	6.00	9.50	0.05	0.27	0.28				痕迹	0.75	[illegible]	0.40				95.64
二等白色料(生常白)	37.50	50.94	5.00	3.43	0.34	0.15	0.30				痕迹	0.60	[illegible]	0.50				95.76
牙白(亮白)	36.00	54.00	5.60	2.00			0.80					1.20						99.60
黑色料(粉料 I)	2.00	69.14		0.00		0.24	3.00	7.00			4.60	0.60					14.20	100.78
(乌金 II)	1.98	59.58		0.69		0.62		1.70			8.40	1.43					25.60	100.00
紫色料(青莲)	41.2	45.16				0.60			0.20		0.50	1.20	[illegible]		0.25	8.34	2.00	100.00
胭脂红(生)	40.00	48.53		8.10		0.20	0.31				0.40	[illegible]	0.05		0.20		1.21	93.92
胭脂红(细)	38.80	47.37		7.54		痕量	0.30				0.40	[illegible]	[illegible]		0.25		3.60	98.26
顶　红(生)	39.71	48.70		7.90		0.45	0.23				0.30	0.41	[illegible]		0.10		1.19	99.09
顶　红(细)	38.30	48.00		7.60		0.29	0.30				0.14	0.15	[illegible]		0.37		3.20	98.58

期的釉上红彩、宣德时期的青花红彩、蓝釉金彩，嘉靖、万历时期的黄地红彩、红地绿彩、黄地紫彩、黄地蓝彩、黄地绿彩，正德时期的白地绿彩等。在彩绘的装饰技法上有点彩、覆彩、染彩、填彩、青花加彩等。其彩色品种之多、彩色技艺之精，不胜枚举。清初康熙、雍正、乾隆时期更加丰富多彩，凡是明代已有的工艺和品种大都有所提高和发展，如康熙五彩中还增添了蓝彩、黑彩和金彩，雍正、乾隆时期除大量应用胭脂红、锑黄、玻璃白外，还有各种色地彩绘，如珊瑚红地、胭脂红地、淡绿地、金地、紫红地以及粉彩描金等等。尤其是乾隆时期，还仿制了很多制作精巧、形象逼真的手工艺品，如胡桃、莲子、荧荮、枣、菱、蟹、海螺等等，多付以釉上彩色装饰，形状色彩十分逼真、并有独特的民族风格，从而使釉上彩在传统制瓷工艺上推向更高水平。

参 考 文 献

[1] 张福康、张志刚，“我国古代釉上彩的研究”，硅酸盐学报，Vol 8, No 4, p347, 1980

[2] 景德镇陶瓷馆文物资料组编，陶瓷资料(1)，1978(内部资料)

[3] 党民、孟沱，“粉彩装饰”，景德镇陶瓷，No1, p74, 1981

[4] 黄云鹏，“粉彩及其生产与发展”，景德镇陶瓷，No 1, p39, 1981

[5] 景德镇陶瓷研究所，“技术合作资料汇编”(内部资料)

[6] M. Ebelmen and M. Salvetat, “Annales de Chimie et de Physique”, 3ᵉ serie Tome XXXV 312～365, 1852

[7] 中国硅酸盐学会编，《中国陶瓷史》，p384，文物出版社，1982

[8] 刘新园、白焜，“高岭土史考”，中国陶瓷(古陶瓷研究专辑)1982 年 7(增刊)，p141～170